

Forschungsbericht

2020



Liebe Leserin, lieber Leser,

angewandte Forschung und Entwicklung einschließlich des Transfers in die Praxis ist als zentrale Aufgabe der Hochschulen für angewandte Wissenschaften nicht neu und der vorliegende Forschungsbericht zeigt einmal mehr eindrucksvoll die aktuellen Ergebnisse zahlreicher Projekte. Unsere Forscherinnen und Forscher haben viele Herausforderungen unserer Zeit und Zukunftsthemen, wie z. B. die Digitalisierung in der Kommunikation, in der Produktion und in der Medizintechnik oder der effiziente Umgang mit Energie und Ressourcen, frühzeitig aufgegriffen, erforscht und weiterentwickelt. Wesentliche Meilensteine und Erfolge wurden bis heute erreicht: So ist etwa eine High-Speed-Magnetfeld-Kamera eingerichtet, Messungen an einem Leistungsschalter sind durchgeführt, Cloud-Backup-Strategien wurden und werden weiterentwickelt und die Potentiale von Biogasanlagen im Stromsystem der Zukunft werden ausgelotet. Am Ziel angekommen sind wir zu diesen und anderen Themen noch nicht, auch das ist in den Beiträgen zu lesen.

Ein wichtiger neuer Schwerpunkt in Forschung und Transfer ist die künstliche Intelligenz. Lern- und anpassungsfähige Systeme werden nicht nur die Wirtschaft, sondern auch unsere Gesellschaft nachhaltig verändern. Auf diese spannende Schlüsseltechnologie gehen unsere Forscherinnen und Forscher ein und arbeiten an programmierbaren Systemen für Intelligenz in Automobilen (PRYSTINE), an innovativen Interaktions- und Visualisierungskonzepten zur Datenanalyse in der Produktion (ISAC@OTH-AW) oder an Graphdatenbanken im klinischen Kontext.



Prof. Dr. Andrea Klug

Präsidentin der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Für alle Fragestellungen gilt es dabei stets über den eigenen Tellerrand hinaus zu blicken und zusammen mit Partnern anderer Disziplinen und auch an anderen Standorten, regional bis hin zu international, zu forschen. Gleichzeitig ist der enge Schulterschluss mit der Wirtschaft und der Gesellschaft ein zentrales Anliegen unserer Hochschule.

Vor diesem Hintergrund sind wir uns sicher: unsere vier Leitthemen im OTH-Verbund

- Energie und Mobilität,
 - Information und Kommunikation,
 - Lebenswissenschaften und Ethik,
 - Produktion und Systeme
- und die beiden Querschnittstechnologien
- Digitalisierung und
 - Sensorik

haben sich bewährt und sind gut etabliert. Sie bieten nach wie vor zahlreiche aktuelle Aufgaben und praktische Fragestellungen für die Forschung und den Transfer.

Wir danken allen Forscherinnen und Forschern für ihr beständiges Engagement neues Wissen zu generieren und die Bereitschaft, dies in Form dieses Forschungsberichts uns allen verfügbar zu machen.

Allen Leserinnen und Lesern wünschen wir eine aufschlussreiche Lektüre und freuen uns, wenn auf diesem Weg neue forschungsbasierte Zusammenarbeit entsteht. Sprechen Sie uns gerne an!



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Vizepräsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden/
Wissenschaftlicher Leiter
Institut für Angewandte Forschung IAF

Preface

Dear Reader,

Applied research and development, including transfer into practice, is not a new central task of the universities of applied sciences, and this research report once again impressively shows the current results of numerous projects. Our researchers have early taken up, researched and further developed many of the challenges of our time and future topics, such as digitalisation in communication, production and medical technology or the efficient use of energy and resources. Important milestones and successes have been achieved to date: For example, a high-speed magnetic field camera has been set up, measurements have been carried out on a circuit breaker, cloud backup strategies have been and are being further developed, and the potential of biogas plants in the power system of the future is being explored. We have not yet reached our goal on these and other topics, which can also be read in the articles.

An important new focus in research and transfer is artificial intelligence. Learning and adaptable systems will change not only the economy but also our society in the long term. Focussing on this exciting key technology, our researchers are working on programmable systems for intelligence in automobiles (PRYSTINE), on innovative interaction and visualization concepts for data analysis in production (ISAC@OTH-AW) or on graph databases in a clinical context.



Prof. Dr. Andrea Klug

President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

For all questions, it is always important to look beyond one's own nose and conduct research together with partners from other disciplines and also at other locations, regionally as well as internationally. At the same time, close cooperation with business and society is a central concern of our university.

Against this background, we are certain: our four guiding themes in the OTH network,

- Energy and Mobility,
 - Information and Communication,
 - Life Sciences and Ethics,
 - Production and Systems
- and the two cross-sectional technologies
- Digitisation and
 - Sensor Technology

have proven themselves and are well established. They still offer numerous current tasks and practical questions for research and transfer.

We would like to thank all researchers for their constant commitment to generating new knowledge and their willingness to make this available to all of us in the form of this research report.

We wish all readers informative reading and look forward to new research-based cooperation emerging along this path. Please feel free to contact us!



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Vice-President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden/
Scientific Director of the
Institut für Angewandte Forschung IAF

Vorwort.....	1	Superkondensatoren: Das Selbstentladeverhalten im Langzeitversuch	39
		Prof. Dr. Peter Kurzweil	
		Josef Schottenbauer, M.Eng.	
Digitalisierung			
Artificial Intelligence for Digitalizing Industry.....	6	EU-Research-Project “1000kmPLUS” – Optimized Routing for Electric Vehicles.....	43
Mathias Schneider, M.Eng.		Martin Fischer, B.Eng.	
Seifeddine Saadani, M.Eng.		Johanna Steindl, M.Sc.	
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß		Heike Lepke, M.Eng.	
		Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß	
Graphdatenbanken im klinischen Kontext.....	12	Programmierbare Systeme für Intelligenz in Automobilen	51
Oliver Haas, M.Sc.		Josef Schmid, M.Sc.	
Prof. Dr.-Ing. Eva Rothgang		Daniel Scharf, M.Sc.	
		Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß	
Innovative Interaktions- und Visualisierungskonzepte zur Datenanalyse in der Produktion	17	Information und Kommunikation	
Prof. Dr. Dieter Meiller			
Veit Stephan, M.Eng.		Cloud-Backup-Strategien	58
		Fabian Süß, B.Eng.	
Mehrskalen-Simulation im Fahrzeugleichtbau	21	Prof. Dr. Andreas Aßmuth	
Prof. Dr.-Ing. Heinrich Kammerdiener		5G4Healthcare – 5G als Baustein der Gesundheitsversorgung von morgen.....	63
		Prof. Dr. rer. pol. Steffen Hamm	
Energie und Mobilität		Prof. Dr. med. Clemens Bulitta	
		PROFINET over TSN – Entwicklung und Zertifizierungsmöglichkeiten von zeitkritischer Kommunikation	69
Investigation of alternative oxygenated fuels on the emissions of a diesel engine operated CHP unit	27	Benedikt Etzold, M.Sc.	
Jin Tianyu, B.Eng.		Sebastian Zach, M.Sc.	
Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O’Connell		Tristan Schönfelder, M.Sc.	
Andreas Röhl, M.Eng.		Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt	
Raphael Lechner, M.Sc.			
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch			
Prof. Luo Fuqiang			
Optibiosy – Potenziale der Biogasanlagen im Stromsystem der Zukunft	33		
Max Becker, M.Eng.			
Raphael Lechner, M.Sc.			
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch			
Johannes Schächinger, B.Eng.			

Physical-Layer Platform for Channel Characteristics Analysis	75
Alexander Gercikow, M.Eng.	
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt	

Lebenswissenschaften und Ethik

Einfluss auf die Funktionssicherheit bei aktiven medizinischen Implantaten bei Bestrahlung in der Brachytherapie.....	81
--	-----------

Larissa Blümlein, M.Sc.
Manuel Stich, M.Sc.
Anne Slawig, M.Sc.
Jonas Habrich, B.Eng.
Karina Schuller, M.Sc.
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Richard Lösch
Dr. med. Matthias Hipp
Dipl.-Ing. (FH) Gregor Schaefers
Prof. Dr. Ralf Ringler

Reduktion der Strahlenexposition durch automatisierte LabView Steuerung und Messung am Beispiel des Sentinell-Lymphknoten-Phantoms	85
---	-----------

Agnes Pöllmann, M.Sc.
Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Stemmer
Larissa Blümlein, M.Sc.
Karina Schuller, M.Sc.
Manuel Stich, M.Sc.
Philip Hammer, B.Sc.
Prof. Dr. Ralf Ringler

Hygiene und Medizintechnik – Beständigkeit und Einsatzmöglichkeiten antimikrobieller Oberflächentechnologien bei hygienisch relevanten Oberflächen.....	91
--	-----------

Dr. rer. nat. Sebastian Buhl
Alexander Stich, M.Sc.
Sabine Gruber, B.Eng.
Jeannine Vogt, B.Eng.
Jonas Peter, B.Eng.
Martin Engelmann, B.Eng.
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Multiphysics Simulationen eines Teststandes zur Untersuchung von HF induzierter Erwärmung bei aktiven implantierbaren Medizinprodukten	98
---	-----------

Michael Stahl
Larissa Blümlein, M.Sc.
Prof. Dr. Ralf Ringler
Prof. Dr.-Ing. Marc Hainke

Weiterentwicklung der Third Mission im Verbund-Projekt TRIO.....	103
---	------------

Prof. Dr. med. Clemens Bulitta
Dr. Wolfgang Weber
Dr. Matthias Schöberl

Evaluation eines Inverted Classroom Konzeptes.....	108
---	------------

Prof. Dr. Horst Rottmann
Christoph Voit, Dipl.-Betriebswirt

Entwicklung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsstrategie der Hochschule unter Berücksichtigung von Stakeholdergruppen – Das Stimmungsbarometer an der OTH Amberg-Weiden	112
---	------------

Alexander Herzner, M.Sc.
Dipl.-Ing. Dita Hommerová, Ph.D, MBA
Katharina Braun, B.A.

Finanzmärkte und Volatilitäten – Der „Flashcrash“ 2018	118
---	------------

Prof. Dr. Frank Schäfer
Jonas Beer, cand. rer. pol.

Produktion und Systeme

Data Analytics – Virtuelle Kraftsensorik zur Verschleißerkennung auf Basis von Tracedaten beim Fräsen	123
--	------------

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl
Prof. Dr. Dieter Meiller
Christoph Haller, M.Eng.
Veit Stephan, M.Eng.
Stephan Prettner

Die temperaturabhängige Viskosität mineralischer und biogener Transformatorenöle.....	128
--	------------

Dipl.-Phys. Christian Schell
Niklas Zell, B.Eng.
Prof. Dr. Peter Kurzweil

Prozessüberwachung eines Bioreaktors zur Gärrestaufbereitung mit einem Metalloxid-Sensor	132
---	------------

Josef Schottenbauer, M.Eng.
Sebastian Chalupczok, M.Eng.
Dipl.-Phys. Christian Schell
Prof. Dr. Peter Kurzweil
Verena Brandl, B.Eng.
Julia Pister, M.Eng.

Bestimmung der Leistungs- und Wirkungsgradcharakteristiken einer Rucksackturbine im Wasser- und Windkanal	137
--	------------

Luca Lieb, B.Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Harald Wirth
Prof. Dr.-Ing. Andreas P. Weiß

Elektrifizierung des Antriebstrangs: Konzeption einer Prozessdatenbank für die Fertigung und die Montage	143
---	------------

Prof. Dr. Franz Magerl
Maximilian Nickel, B.A.

Ein neuer Ansatz zur Berechnung von Spannungen und Verformungen von Implantaten in Echtzeit	147	High Speed Magnetfeld-Kamera und Messungen an einem Leistungsschalter.....	166
Christopher Fleischmann, M.Sc.		Christian Reil, M.Eng.	
Irina Leher, B.Eng.		Matthias Meier, B.Eng.	
Reinhold Hartwich, B.Eng.		Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt	
Prof. Dr.-Ing. Marc Hainke			
Prof. Dr. med. habil. Stefan Sesselmann			
Sensorik		Entwicklung eines Dosimetriephantoms zur Bestimmung der Streustrahlendosis bei Patienten mit kardiovaskulären implantierbaren medizinischen Geräten (CIEDs).....	171
Numerical analysis of cyclic voltammetry measurements in electrochemical sensor applications.....	151	Larissa Blümlein, M.Sc.	
Josef Schottenbauer, M.Eng.		Johannes Turnwald, B.Sc.	
Sebastian Chalupczok, M.Eng.		Prof. Dr. Oliver Kölbl	
Dipl.-Phys. Christian Schell		Prof. Dr. Barbara Dobler	
Prof. Dr. Peter Kurzweil		Prof. Dr. Ralf Ringler	
Instrumentelle Analytik: Alterungs- und Zersetzungsmechanismen natürlicher Fette	157	Inserentenverzeichnis	175
Dipl.-Phys. Christian Schell		Impressum.....	176
Prof. Dr. Peter Kurzweil			
Sauer macht lustig: Von der Interdigitalstruktur zum impedimetrischen pH-Sensor	161		
Sebastian Chalupczok, M.Eng.			
Prof. Dr. Peter Kurzweil			
Josef Schottenbauer, M.Eng.			

Artificial Intelligence for Digitalizing Industry

Mathias Schneider, M.Eng.
Seifeddine Saadani, M.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß



(Verbundnr. ES2ECS18201)

Zusammenfassung

Begünstigt durch die kontinuierlichen Verbesserungen der Rechenleistung in den vergangenen Jahrzehnten erlebt die Künstliche Intelligenz (KI) in den letzten Jahren ihre Renaissance. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung und den dadurch verfügbaren Datenmengen, eignen sich KI-Methoden der nächsten Generation, um u. a. Muster zu erkennen oder den Trend in Zeitreihen sehr akkurat voraussagen zu können. Im Rahmen des Forschungsprojektes "Artificial Intelligence for Digitalizing Industry" – *AI4DI* – sollen weitere Schritte unternommen werden, Methoden der Künstlichen Intelligenz in die Digitalisierung verschiedenster Industriezweige einfließen zu lassen.

Gefördert wird das Projekt von der Europäischen Union im Rahmen des H2020 ECSEL JU sowie den involvierten nationalen Förderern in Deutschland dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Die Automotive-Forschungsgruppe der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden (OTH AW) erforscht in diesem Projekt über einen Zeitraum von drei Jahren die Optimierungsmöglichkeiten seitens Latenz, Datendurchsatz und Energieeffizienz von konsekutiven Datenverarbeitungsprozessen in verteilten Systemen. Ein Anwendungsbezug besteht hierbei zum Themenkomplex von Mobility as a Service (MaaS).

Abstract

Prospering by the continuous improvements in computation performance during the last decade, Artificial Intelligence (AI) undergoes its renaissance in the previous years. Progressing digitization provides the amount of data, which are required to leverage next generation of AI methods, including algorithms for pattern recognition and prediction of trends for time-series regression problems. The European research project "Artificial Intelligence for Digitalizing Industry" (*AI4DI*) investigates the potential of these methods in various industries, accompanying the ongoing digitalization.

The project is funded in the program H2020 ECSEL JU by the European Union as well as the involved national authorities, including the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in Germany.

In the next three years, the Automotive-Research Team of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden (OTH AW) investigates concepts for optimizing latency, throughput and power efficiency of data processing pipelines in distributed systems applied in the field of Mobility as a Service (MaaS).

1 Einleitung

Dass sich hinter der Künstlichen Intelligenz (KI) weit mehr als nur ein rein modisches Schlagwort versteckt, bestätigen die aufgetretenen – teils bahnbrechenden – technologischen Erfolge in diesem Feld innerhalb des noch jungen Jahrtausends. Eine Begründung hierfür

liefert die Kombination von fortlaufendem Fortschritt verfügbarer Rechenleistung gemäß des Moore'schen Gesetzes und der Zugang zu sehr großen Datenmengen. Die heutigen Ansätze in der Algorithmik unterscheiden sich dagegen nicht sehr von ihren Ursprüngen aus den letzten Jahrzehnten.

Auch die Industrie sieht zunehmend das Potential von KI. KI eignet sich für weitaus mehr als für Spielereien, wie etwa den besten menschlichen Gegner im chinesischen Brettspiel Go zu schlagen [1]. Prominente Anwendungsgebiete für KI sind heutzutage unter anderem die Objekterkennung und Klassifikation von Kamerabildern, z. B. für das automatisierte/autonome Fahren und für die Automatisierung im industriellen Umfeld, aber auch für die sogenannte vorausschauende Wartung (engl. "*predictive maintenance*"), welche es ermöglichen soll, bevorstehende Ausfälle in der Anlage im Vorhinein mit hoher Genauigkeit abschätzen zu können.

Obgleich die Anwendungsfelder sowohl vielseitig und als auch vielversprechend sind und zudem ein enormes wirtschaftliches Potenzial von 60 Milliarden Dollar Umsatz besteht [2], so liegt die Kompetenz in diesem Themenfeld zunehmend außerhalb Europas. Um diesem Trend entgegenzuwirken, wird durch die EU und die jeweiligen Teilnehmerstaaten das Förderprojekt *Artificial Intelligence for Digitalizing Industry* (AI4DI) unter dem Schirm *Electronic Components and Systems for European Leadership Joint Undertaking* (ECSEL JU) mit einem Gesamtbudget von etwa 30 Millionen Euro in einem Zeitraum von drei Jahren (2010–2022) unterstützt [3].

2 Projektübersicht

Ein Hauptaugenmerk legt AI4DI auf mögliche Anwendungsfälle für das maschinelle Lernen in verschiedensten Industriezweigen. Hierunter fällt beispielweise die visuelle Begutachtung eines Produktes zur Qualitätssicherung, die Produktionsoptimierung durch Simulationen anhand eines digitalen Prozessabbilds, aber auch die Reduzierung von Warte-/Umsteigezeiten eines Passagiers innerhalb des multimodalen Verkehrssystems. Ein weiterer Schwerpunkt des Projektes liegt darin, die Intelligenz des Systems näher an die Peripherie zu rücken. Derzeit stellen vorrangig zentrale Strukturen („*Cloud*“) die nötige Rechenleistung für KI bereit. In AI4DI soll erforscht werden, inwieweit dezentrale Recheneinheiten („*Edge*“) nahe am Prozess Teile dieser Rechenarbeit übernehmen können. Dieser Ansatz ermöglicht zum einen den Einsatz von KI ohne permanente Anbindung an das Internet, als auch die Reduktion der Datenmengen, welche mit der Cloud ausgetauscht werden müssen.

Das Projekt will dabei jedoch nicht nur den anwendungsspezifischen Einsatz von KI-Methoden erproben, sondern auch die Erfahrung aus den verschiedensten industriellen Bereichen bündeln. In AI4DI werden dazu unterschiedliche KI-Methoden in 13 industriellen Anwendungsfeldern untersucht und demonstriert.

Unter der Projektleitung der Infineon AG arbeiten insgesamt 40 europäische und ein taiwanesischer Partner aus verschiedensten Industrien zusammen (Abbildung 1). Dies umfasst auch das deutsche Konsortium, welches

u. a. mit der Audi AG, der Cognition Factory GmbH, der Fraunhofer Gesellschaft und der Technischen Universität Dresden und München das gesamte Spektrum zwischen Industrie und Forschung abdeckt.



Abbildung 1: Übersicht der europäischen Projektpartner (nicht eingetragen ist das ITRI, Taiwan) [4]

Die Ziele von AI4DI orientieren sich dabei an den Anforderungen des *Multi Annual Strategic Plan* (MASP) im Bereich der digitalen Industrie aus dem Jahr 2018 [5]:

1. Entwicklung von Digitalen Zwillingen, Simulationsmodellen für die Evaluierung von industriellen Anlagen unabhängig der Fertigungsstufe bzw. des System- oder Produktlebenszyklen.
2. Implementierung von KI und maschinellen Lernens zur Detektion von Anomalien und Optimierung von Parametern.
3. Generalisierte Überwachungsmethoden, welche es einerseits ermöglichen Schäden vor ihrem Eintreten zu erkennen als auch andererseits für die aktuelle Entscheidungsfindung eine Hilfestellung zu bieten.

Die Projektstruktur ist dabei durch die verschiedenen Industriezweige in fünf sogenannte Wertschöpfungsketten untergliedert, welche verschiedene Teilaspekte abdecken:

1. Automobilindustrie: Herstellungsprozess und vorausschauende Diagnose
2. Halbleiterindustrie: Herstellungsprozess, Fehlererkennung und visuelle Inspektion

3. Industriemaschinen: Mensch-Maschine-Kollaboration, KI als Service
4. Nahrungs- und Getränkeproduktion: Visuelle Inspektion, Qualitätsfeststellung
5. Transportwesen: Mobilität als Service

Das Forschungsteam der OTH AW beteiligt sich an der Erforschung von KI im Umfeld des Transportwesens. Die Wertschöpfungskette, welche außer unserer Hochschule ausschließlich ausländische Projektpartner umfasst, wird vom finnischen Technischen Wissenschaftszentrum VTT geleitet.

Die Bearbeitung des Projektes erfolgt gemäß dem V-Modell und umfasst somit alle Stufen von der Anforderungsanalyse über das Systemdesign, die Implementierung bis hin zur Integration und Validierung in einen prototypischen Testaufbau, welches dem Technology Readiness Level 4 entspricht.

3 Künstliche Intelligenz im Transportsystem

Anwendungsfälle von KI im Umfeld des Transportsystems sind vielschichtig. Während z. B. Objektklassifizierung auf Basis verschiedenster Sensorik, wie Kamera, Radar und Lidar, für die von Advanced Driver Assistance Systemen (ADAS) benötigten Funktionalitäten herangezogen wird, können Mustererkennungsalgorithmen verwendet werden, um präzise Aussagen darüber zu treffen, wie sich die zeitliche und räumliche Verkehrsdichte entwickeln wird. Die genannten Beispiele tragen zum übergeordneten Gesamtkonzept *Mobility as a Service* (MaaS) bei. MaaS umfasst dabei jedoch weit mehr die Optimierung der Mobilität im Kleinen – vielmehr geht es darum, verschiedenste Systeme, Technologien, aber auch den Menschen zu integrieren. Darunter fallen Aspekte wie ein vereinheitlichtes Bezahlssystem und die Reduzierung von Warte-/Umsteigezeiten innerhalb des multimodalen Transportsystems. Letzteres wird dabei der Hauptanwendungsfall der Untersuchungen innerhalb von AI4DI seitens der OTH AW sein. Konkret behandelt der Demonstrator der Wertschöpfungskette 5 einen Teilbereich des Intelligenzen Transportsystems (ITS). In dem Anwendungsszenario "Last Mile", welcher im Projektverlauf weiter konkretisiert wird, soll der nahtlose Umstieg eines Passagiers von einem Personenbus in ein automatisiertes Fahrzeug optimiert werden. Dabei werden sich die finnischen Partner VTT, Murata und Vaisto um die benötigten Funktionalitäten im Bereich des automatisierten Fahrens unter Verwendung von KI widmen. Die Versuchsfahrzeuge stellt hierbei VTT (Abbildung 2). Das Szenario wird durch den griechischen Partner ITML und die OTH AW komplementiert. Letztere betrachten, wie dieser Prozess aus Sicht des übergeordneten Transportsystems optimiert werden kann.



Abbildung 2: Versuchsträger von VTT umfassen einen elektrischen Bus, automatisierte Personenfahrzeuge und intelligente Infrastruktur [6]

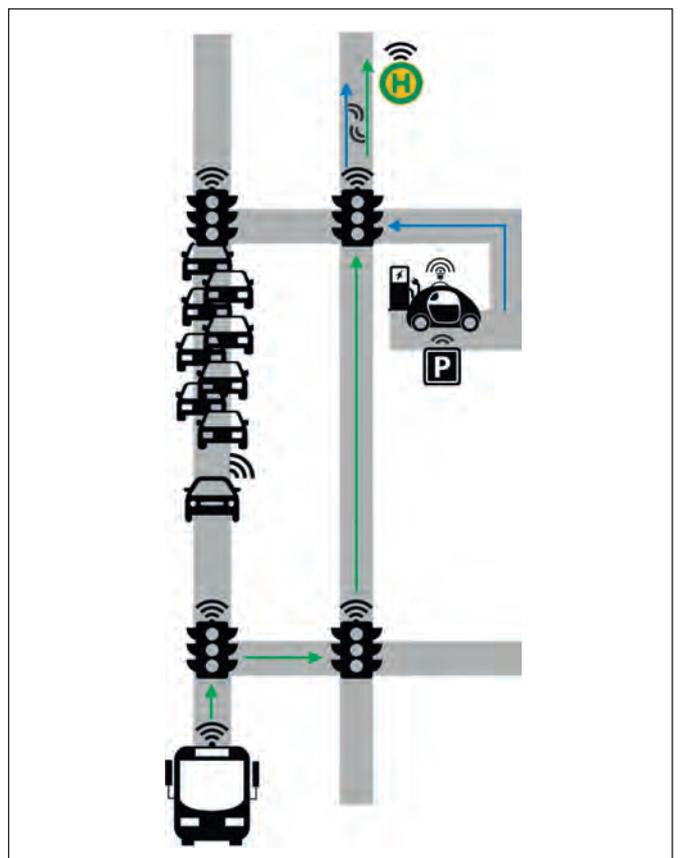


Abbildung 3: Schematischer Ablauf des "Last Mile" Szenarios

Diese Optimierung soll dabei durch die Akquirierung zusätzlicher Sensordaten im Fahrzeug und in der Infrastruktur ermöglicht werden. Aktuelle Daten werden eingesetzt, um z. B. Informationen über die Verkehrsdichte abzuleiten. Aus dieser Datengrundlage soll dann im Weiteren sowohl die Routenplanung des Busses optimiert, als auch dem automatisierten Fahrzeug das genaue Timing des anstehenden Umstiegs vermittelt werden (Abbildung 3). Um solche Optimierungsentscheidungen aus lokaler und globaler Sicht treffen zu können, soll die Intelligenz gemäß den jeweils benötigten Daten und der erforderlichen Rechenleistung dabei auf Fahrzeug, Infrastruktur und Cloud verteilt werden.

4 Verteiltes Datenverarbeitungssystem

Da diese Transportsysteme aufgrund der gegebenen Mobilität räumlich verteilt sind und gerade die Fahrzeugperipherie nur mit eingeschränkten Rechenressourcen ausgestattet ist, liegt ein Schwerpunkt der Betrachtung der OTH AW darin, arbeitsintensive Rechenprozesse (z. B. Fußgänger-detektion) dynamisch und effektiv im gegebenen Rechnernetzwerk aufzuteilen. In diese Untersuchungen werden dabei sowohl heterogene Rechenkomponenten (CPU, GPU und KI-Beschleuniger), als auch verschiedenste Kommunikationstechnologien wie Ethernet, IEEE 802.11ac und Mobilfunk eingebunden. Diese Komponenten zeichnen sich durch unterschiedliche Kapazitätseigenschaften aus. Während Recheneinheiten sich durch Merkmale, wie die maximalen Flops, verfügbarer Arbeitsspeicher und Speicherzugriffszeiten unterscheiden, differenzieren sich Kommunikationstechnologien durch Datendurchsatz und Latenz (Abbildung 4). Ziel der Betrachtung soll es sein, Datenverarbeitungsketten, welche in einem gerichteten azyklischen Graphen (engl. directed acyclic graph, kurz DAG) abbildbar sind, möglichst effizient auf dieses Netzwerk an Rechnern zu verteilen. Diese zweiteilige Optimierungsaufgabe, bestehend aus Partitioning und Scheduling, lässt sich hierbei auf das sogenannte Flow-Shop-Problem für Maschinenbelegungspläne zurückführen [7]. Diesem Problem ist nachgewiesen, NP-vollständig zu sein [8]. Da diese Problemstellung bereits seit Mitte der 1950er untersucht wird, gibt es eine Vielzahl an bekannten, rechenaufwändigen Algorithmen, darunter der Johnson [9] und der Heterogeneous Earliest Finish Time (HEFT) Algorithmus [10], welche jeweils in der Lage sind, eine nahezu optimale Lösung zu finden.

ITS und im Speziellen das "Last-Mile"-Szenario stellen dabei jedoch deutlich höhere Anforderungen an die Recheneffizienz dieser Algorithmen. Durch die Mobilität des Fahrzeugs, welches Auswirkungen auf verfügbare Re-

cheneinheiten (z.B. Edge-Computer in der Infrastruktur) sowie auf die Qualität der Kommunikationskanäle hat, wird es notwendig, das System kontinuierlich zu optimieren. Zudem soll es möglich sein, neue Verarbeitungsschritte der Datenverarbeitungskette hinzuzufügen oder bestehende zu entfernen und dementsprechend die Verteilung mit geringem Aufwand anzupassen. Hierfür sind die traditionellen und rechenaufwändigen Algorithmen nicht geeignet, da jede Veränderung im System eine neue, kostenaufwändige Berechnung der neuen Aufteilung nach sich zieht. Die Untersuchung der OTH-AW beschäftigt sich daher damit, geeignete KI-Methoden, z.B. aus dem Bereich des Bestärkenden Lernens (engl.: *Reinforcement Learning*), heranzuziehen. Durch deren Verwendung soll es nun ermöglicht werden, das gesamte System dynamisch und effizient zu optimieren. Erste Ansätze haben hierbei ein Verbesserungspotenzial bereits nachgewiesen [11]. Als finales Ziel soll die Datenverarbeitungskette dann je nach Anforderung auf verschiedene Kriterien wie Latenzzeiten, Datendurchsatz oder der Energieverbrauch auf das Rechnernetzwerk verteilt werden.

Um solche Modelle und Algorithmen zu bewerten, wird eine Simulationsumgebung erforderlich, welche es ermöglicht, aus definierten Szenarien Benchmarks zu erzeugen und so den Mehrwert der KI-Anwendung experimentell nachzuweisen. Diese Umgebung, welche z. B. auf SimDAG für Netzwerkanalysen aufbaut, soll im Lauf des Projektes um die benötigten dynamischen Aspekte erweitert werden.

5 Ausblick

Da sich das Projekt noch in einem frühen Stadium befindet, werden derzeit die frühen Phasen innerhalb des Projektablaufs gemäß dem V-Modell bearbeitet. Diese umfassen die Anforderungsanalyse und das Systemdesign. Ein regelmäßiger Austausch mit den direkten

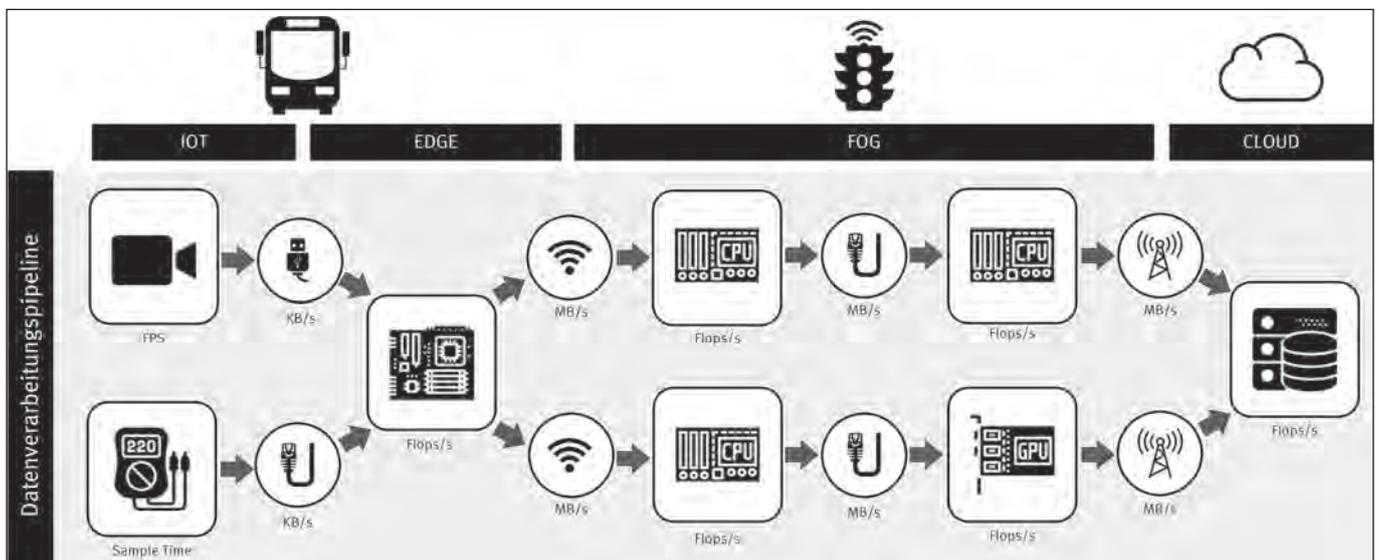


Abbildung 4: Heterogene Prozessor- und Kommunikationstechnologien in Fahrzeug, Infrastruktur und Cloud

Projektpartnern innerhalb des Demonstrators wird dabei forciert. Hierdurch soll eine einheitliche Vision der Aufgabe innerhalb der Wertschöpfungskette gefestigt und frühzeitig Unregelmäßigkeit im Projektablauf erkannt werden. Da AI4DI zudem darauf abzielt, den europäischen Fördergebern einen Leitfaden für den Einsatz von KI in der Industrie bereitzustellen, sollen konsortiumsweite

Workshops dazu dienen, die Ziele und Möglichkeiten der KI unabhängig des jeweiligen Anwendungsfalls und Industriezweigs zu definieren. Dieser Leitfaden soll dabei bestehende Standardisierungsprozesse wie die ISO Norm für KI (ISO/IEC JTC 1/SC 42) ergänzen und wird als einer der ersten Ergebnisberichte Ende 2019 an die europäische Kommission übermittelt.

Referenzen:

- [1] D. Silver, A. Huang, C. J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. Van Den Driessche, ... & S. Dieleman, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search", *nature*, 529 (7587), 484, 2016
- [2] Tractica, "Artificial Intelligence Market Forecasts 2Q 2017.", Boulder, CO 80302 USA. Online verfügbar: <https://www.tractica.com/wp-content/uploads/2017/04/MD-AIMF-2Q17-Executive-Summary.pdf> [Zugegriffen am 19.9.2019].
- [3] Bundesministerium für Bildung und Forschung, „AI4DI – Elektroniksysteme für Künstliche Intelligenz in der digitalen Industrie“, 2019. Online verfügbar: <https://www.elektronikforschung.de/projekte/ai4di> [Zugegriffen am 19.9.2019].
- [4] AI4DI Consortium, "Consortium", 2019. Online verfügbar: <https://ai4di.automotive.oth-aw.de/index.php/consortium> [Zugegriffen am 19.9.2019].
- [5] ECSEL JU, "Multi-Annual Strategic Plan", 2018, ECSEL JU. Online verfügbar: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/legal/jtis/ecsel-multi-stratplan-2018_en.pdf, [Zugegriffen am 19.9.2019].
- [6] VTT Research, "Automated Driving", 2019. Online verfügbar: <https://www.vttresearch.com/services/sustainable-and-smart-city/transport/vehicle-systems>, [Zugegriffen am 19.9.2019].
- [7] S. M. Johnson, "Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included", *Naval Research Logistics*, vol. 1, no. 1, pp. 61–68, Mar. 1954
- [8] M. R. Garey, D. S. Johnson, and R. Sethi, "The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling", *Mathematics of OR*, vol. 1, no. 2, pp. 117–129, May 1976.
- [9] H. Allaoui, S. Lamouri, and A. Artiba, "Using Johnson's algorithm to approximate some flow shop scheduling problems with unavailability periods", *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 39, no. 3, pp. 45–50, 2006.
- [10] H. Topcuoglu, S. Hariri, and Min-You Wu, "Task scheduling algorithms for heterogeneous processors", in *Proceedings. Eighth Heterogeneous Computing Workshop (HCW'99)*, San Juan, Puerto Rico, 1999, pp. 3–14.
- [11] Q. Wu, Z. Wu, Y. Zhuang, and Y. Cheng, "Adaptive DAG Tasks Scheduling with Deep Reinforcement Learning", in *Algorithms and Architectures for Parallel Processing*, vol. 11335, J. Vaidya and J. Li, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 477–490.

Projektpartner:

siehe Abbildung 1

Fördergeber:

AI4DI has received funding within the Electronic Components and Systems for European Leadership Joint Undertaking (ECSEL JU) in collaboration with the European Union's H2020 Framework Programme and National Authorities, under grant agreement n° 826060.



Kontakt:



Mathias Schneider, M.Eng.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

mat.schneider@oth-aw.de



Seifeddine Saadani, M.Eng.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

se.saadani@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Vizepräsident Forschung und Technologietransfer,
wissenschaftlicher Nachwuchs
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.hoess@oth-aw.de

Zusammenfassung

Große Datenmengen, die in verschiedenen Formaten anfallen, sind schwer zu analysieren. Das gilt insbesondere auch für Kliniken, die jeden Tag Daten über Dutzende Patienten dokumentieren. Um diese Daten aus verschiedenen Domänen wie Medikamente, Diagnosen und demographische Daten zusammen analysieren zu können, haben wir sie in einen Graphen transformiert, um die Verknüpfungen innerhalb der Daten explizit sichtbar zu machen. Diese Herangehensweise erlaubt es, einzelne Fälle einfach zu erfassen und zudem die Gemeinsamkeiten und damit auch die Unterschiede mehrerer Fälle zu sehen. Dieser Ansatz ist zudem erweiterbar: sollten neue Daten über Krankenhausfälle verfügbar sein, können sie einfach in den Graphen integriert werden, ohne bestehende Daten anpassen zu müssen.

Abstract

Large datasets with different formats are hard to analyze. This is especially challenging for hospitals where datasets of dozens of patients are documented every day. The data come from different domains like drugs, diagnoses or demographic data. To allow for analyzing all this data in a unified way, it was transformed into a graph. This makes the relationships within the data explicitly visible. This approach is anticipated to enable clinicians to understand cases more easily, enhance similarities and thus also differences between cases. The proposed approach is extensible: new data on clinical admissions can easily be integrated into the graph without changing existing data.

1 Einführung

In den letzten 30 Jahren wurden klinische Informationssysteme zum Standard, etwa in den USA [1]. Seitdem sind viele Jahre lang Daten über Patienten und deren Behandlung angesammelt worden. Das macht es für Klinikmitarbeiter zunehmend schwieriger, durch diese großen Datenmengen zu navigieren und sie sinnvoll zu nutzen, auch da die Daten teilweise in verschiedenen heterogenen Systemen und Formaten vorliegen. Zusammenhänge zwischen den Daten verschiedener Patienten sind so schwer zu erkennen.

Im Rahmen der Panama Papers [2], einer Untersuchung von kriminellen Netzwerken im Bereich der Steuerhinterziehung, kam es zu einem ähnlichen Problem: große Mengen an verschiedenen Daten aus heterogenen Quellen mussten verknüpft werden, um Zusammenhänge

erkennbar zu machen. Zu diesem Zweck wurden *Graphdatenbanken* eingesetzt [3]. Im Gegensatz zu konventionellen Datenbanken werden Daten dort nicht in Tabellen abgelegt, sondern als einzelne Knoten gespeichert, die dann beliebig verknüpft werden können.

Um eine einheitliche Sicht auf die bestehenden Daten einer Klinik zu erhalten, werden in der vorliegenden Arbeit ebenfalls Graphdatenbanken eingesetzt. Ähnlich wie im Rahmen der Panama Papers sollen so verschiedenartige Daten einfacher analysierbar werden sowie Muster erkennbar und suchbar gemacht werden.

Graphen wurden im medizinischen Umfeld bereits erfolgreich benutzt. So gibt es mehrere Studien, die Graphdatenbanken mit biologischen und genetischen Daten nutzen [4–8]. Des Weiteren wurden Graphen untersucht, die einzelne Arten klinischer Daten wie Medikamente,

Diagnosen oder genetische Informationen in Beziehung setzen [9–11]. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang die Arbeit von Ruan et al. [12]. Heterogene klinische Daten werden in Form eines Graphen genutzt, um ausgewählte, in natürlicher Sprache formulierte Fragen, über die Daten mittels statistischer Kennzahlen und Grafiken zu beantworten.

Dies ist nach unserem aktuellen Kenntnisstand die erste Studie, die klinische Daten in großem Umfang und allgemein, also nicht beschränkt auf einzelne Datentypen, als Graph direkt verfügbar macht, um die Navigation und Analyse von Zusammenhängen zu vereinfachen. Neben dem Gebrauch in Kliniken ist der Ansatz auch für Forscher interessant. Durch die Möglichkeit, interaktiv durch die Daten zu navigieren und nach Mustern zu suchen, kann die hier vorgestellte Methode helfen, neue Sichtweisen auf bestehende Daten zu erhalten. Damit können vergangene Fälle dazu benutzt werden, neue Patienten besser zu behandeln, indem bestehende klinische Dokumentation eingebunden wird.

2 Methoden

Als Datenbasis nutzen wir MIMIC-III [13], eine öffentlich verfügbare Datenbank mit Daten zu Fällen aus dem Beth Israel Deaconess Medical Center in Boston, Massachusetts. Insgesamt enthält die Datenbank anonymisierte Informationen zu 58.976 Fällen von 46.520 Patienten aus über 10 Jahren, wobei alle zumindest zeitweise auf einer Intensivstation gelegen haben. Darunter sind demographische Daten wie Geschlecht, Sprache, Versicherung und ethnische Gruppe, medizinische Information wie Diagnosen und Prozeduren (beide nach ICD-9-CM [14]), sowie pflegerische Informationen wie verabreichte Medikamente und textuelle Notizen.

Für die vorliegende Arbeit wurden nur die Daten benutzt, anhand derer Fälle sinnvoll gruppiert werden können. So sind beispielsweise Notizen in diesem Zusammenhang keine sinnvolle Gruppierung, da davon ausgegangen werden kann, dass Notizen meist einmalig sind und nicht mehrmals in verschiedenen Fällen auftauchen. Ebenso sind Vitalparameter sehr spezifisch und ändern sich ständig, was die Zuordnung zu einem kompletten Aufenthalt schwierig macht. Jeder verwendete Datentyp außer Klinikaufenthalte kann somit nur in endlich vielen Ausprägungen auftreten. Die verwendeten Informationen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Auflistung der Knotentypen, zusammen mit einer Beschreibung, Kennzahlen sowie der Ursprungstabelle in MIMIC.

Knotentyp	Beschreibung	Anzahl Knoten	Anzahl Verknüpfungen zu Admission-Knoten	Ursprungs-Tabellen in MIMIC
Admission	Krankenhausaufenthalt des Patienten	58976	n.a.	ADMISSIONS
Diagnosis	Diagnose (nach ICD-9-CM)	14567	634709	D_ICD_DIAGNOSES, DIAGNOSES_ICD
Drg	Diagnosis-related Group (DRG), Fallgruppe	2115	125557	DRGCODES
Ethnicity	Ethnische Gruppe des Patienten	41	58976	ADMISSIONS
ExpireFlag	Ist Patient bei Krankenhausaufenthalt verstorben?	2	58976	ADMISSIONS
Gender	Geschlecht des Patienten	2	58976	PATIENTS
Insurance	Art der Versicherung des Patienten	5	58976	ADMISSIONS
Language	Sprache des Patienten	76	58976	ADMISSIONS
MaritalStatus	Familienstand des Patienten	8	58976	ADMISSIONS
Patient	Patient	46520	58976	PATIENTS
Prescription	Verschreibung eines Medikaments	4525	4156450	PRESCRIPTIONS
Procedure	Prozedur (nach ICD-9-PCS)	3882	237948	D_ICD_PROCEDURES, PROCEDURES_ICD
Religion	Religion des Patienten	21	58976	ADMISSIONS
Service	Klinikdienst (z.B. Orthopädie, Pädiatrie)	20	73343	SERVICES
Ward	Aufenthalt auf Station	54	261897	TRANSFERS

Um diese Daten besser navigierbar zu machen, wird eine Graphdatenbank eingesetzt. Konkret kommt dabei Neo4j 3.5.8 [15] zum Einsatz. Graphdatenbanken nutzen *Knoten* und *Verknüpfungen*, um Daten zu speichern. Abbildung 1 zeigt ein fiktives Beispiel – aus Gründen des Datenschutzes werden keine echten Daten gezeigt. Die Kreise stellen Knoten dar, also Datenentitäten, die einen bestimmten Typ (z.B. Diagnosis) haben und weitere Daten als Attribute beinhalten können. Die Linien zwischen den Kreisen sind Verknüpfungen, die ebenfalls mit weiteren Attributen versehen werden können.

Um aus den Dateien des MIMIC-Projekts eine Graphdatenbank zu erstellen, wurde eine Software namens *GraphBuilder* geschrieben. Das mit der Programmiersprache C# erstellte Programm liest eine kurze Spezifikation ein. Diese Spezifikation enthält die Namen der Originaldateien und der Attribute, mit denen die zu erstellenden Knotentypen gefüllt werden, zusammen mit einer Beschreibung der Verknüpfungen zwischen den Knoten. Das Ergebnis ist ein Skript, das in Neo4j ausgeführt werden kann. Anhand dieses Skripts liest Neo4j die ursprünglichen Dateien ein, erstellt die Knoten und verknüpft sie entsprechend des spezifizierten Modells. Die Spezifikation wurde relativ einfach gewählt: als Knotentypen kommen die in Tabelle 1 aufgelisteten Einträge vor. Jeder Krankenhausaufenthalt (*Admission*) wurde mit genau den Knoten verknüpft, deren Inhalt Teil des Aufenthalts war. Innerhalb weniger Minuten (mit einem im Jahr 2019 handelsüblichen Laptop) steht dann die Graphdatenbank mit den Daten aus MIMIC-III bereit.

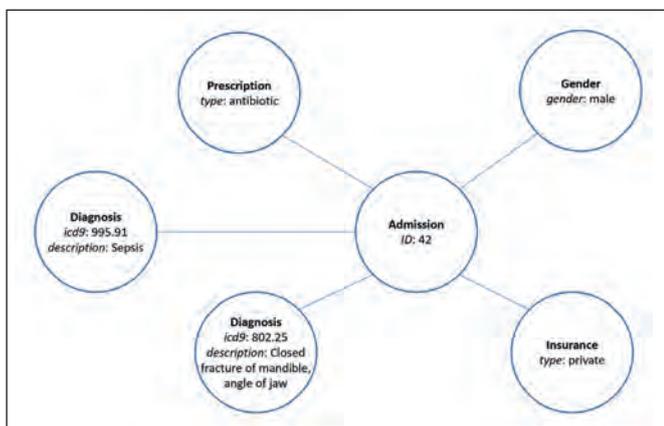


Abbildung 1: Beispiel eines Graphen anhand fiktiver klinischer Daten. Ein Aufenthalt (Nr. 42, Mitte) ist verknüpft mit den Knoten "Gender: male", "Insurance: private", "Diagnosis: Closed fracture of mandible, angle of jaw", "Diagnosis: Sepsis" und "Prescription: Antibiotic". Die Knoten zeigen den Knotentyp fett gedruckt und darunter die Attribute in der Form „name: Wert“.

Handelt es sich beispielsweise um den Krankenhausaufenthalt eines Mannes (privat versichert) wegen eines Kieferbruchs und einer Sepsis, wobei ein Antibiotikum gegeben wurde, so werden folgende Knoten erstellt (Abbildung 1): der zentrale Knoten ist der Admission-Knoten, der den Aufenthalt an sich symbolisiert. Mit diesem Knoten werden nun die Knoten für „Gender: male“, „Insurance:

private“, „Diagnosis: Closed fracture of mandible, angle of jaw“, „Diagnosis: Sepsis“ und „Prescription: Antibiotic“ verknüpft. Das ist die Kurzschreibweise der Knoten. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, kann ein Knoten mehrere Attribute haben, die ihn zusammen eindeutig definieren. Wie an dem Beispiel erkenntlich, kann ein Aufenthalt auch mit mehreren Knoten des gleichen Typs verknüpft sein.

Da es im Laufe der Jahre ähnliche Fälle gab, werden beispielsweise mehrere Aufenthalte mit dem Knoten Kieferbruch verknüpft sein. Durch diese *gemeinsamen Nachbarn* lassen sich Muster in den Daten suchen und Fälle nach verschiedenen Kategorien gruppieren. So sind beispielsweise die gemeinsamen Nachbarn der Knoten männlich und Kieferbruch alle Fälle von männlichen Kieferbruch-Patienten in den Klinikdaten.

3 Ergebnisse

Der entstandene Graph hat 130.814 Knoten und 5.961.712 Verknüpfungen. Eine genauere Aufschlüsselung findet sich in Tabelle 1, zusammen mit der jeweiligen Anzahl an Knoten und Verknüpfungen sowie einer Beschreibung für jeden Typ. Durch den in Neo4j mitgelieferten *Neo4j Browser* kann die Datenbank interaktiv visualisiert werden. Abbildung 2 zeigt einen Bildschirmausschnitt – aus Gründen des Datenschutzes sind keine personenbezogenen Daten enthalten. Mithilfe einer Abfrage können Knoten und Muster in der Datenbank gesucht werden. Per Mausklick können einzelne Knoten wieder entfernt werden oder auch alle Nachbarn eines Knoten angezeigt werden.

Gemeinsamkeiten zwischen zwei Fällen sind dann als Knoten zu sehen, die die beiden Admission-Knoten verbinden. Auch die Abwesenheit von Information kann dargestellt werden – so wird der vordefinierte Begriff *null* benutzt, um anzuzeigen, dass die Information in den Ursprungstabellen gefehlt hat. Beispielsweise ist die Sprache bei Neugeborenen nicht ausgefüllt, wodurch diese Fälle mit den Knoten „Sprache: null“ verknüpft werden. Es kann auch vorkommen, dass zwischen einem Fall und beispielsweise einem Medikament mehrere Verknüpfungen gibt, etwa weil das Medikament während des Aufenthalts mehrfach verschrieben wurde.

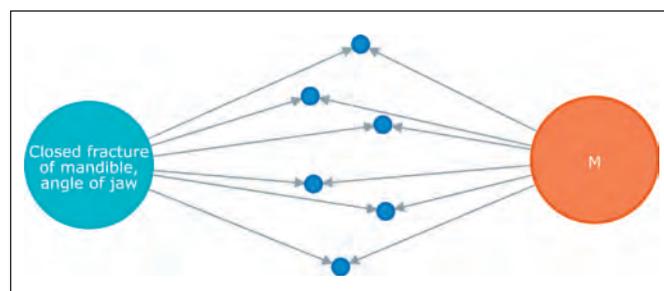


Abbildung 2: Ausschnitt aus dem entstandenen Graphen, erstellt mittels Neo4j Browser. Links (cyan) ist der Knoten für Kieferbruch, rechts (orange) der Knoten für männlich. In der Mitte (dunkelblau) sind die zugehörigen Fälle als gemeinsame Nachbarn. Personenbezogene Daten wurden ausgeblendet.

Zusätzlich können nun einzelne Fälle genauer analysiert werden, indem alle Nachbarn angezeigt werden. Alle relevanten Informationen zu diesem Fall liegen nun nicht mehr in verschiedenen Tabellen verstreut, sondern sind explizit mit dem Fall verknüpft. Das macht es einfacher, eine Gesamtübersicht über den Fall zu bekommen, da schnell alle Nachbarn angezeigt werden können. Auch verschiedene Fälle eines Patienten sind so einfach analysierbar, da sie die Nachbarn des entsprechenden Patient-Knotens sind.

4 Diskussion

Mittels Neo4j 3.5.8 und der selbst geschriebenen Software GraphBuilder haben wir die Daten eines Krankenhauses in eine Graphdatenbank integriert. Mithilfe des Neo4j Browser ist dieser Graph interaktiv navigierbar und kann nach Mustern durchsucht werden. Die so gewonnene Sicht bietet zwei Vorteile: einerseits können so Zusammenhänge zwischen Fällen als gemeinsame Nachbarknoten einfach identifiziert werden. Andererseits kann durch die Vereinheitlichung der verschiedenen Informationsar-

ten schnell ein Überblick über einzelne Fälle oder Patienten gewonnen werden, da alle relevanten Informationen als Nachbarn des Falls direkt zur Verfügung stehen. In beiden Fällen steht die Allgemeinheit und Erweiterbarkeit im Vordergrund: verschiedene Informationen werden einheitlich als Datenknoten dargestellt, was die Verknüpfung der Daten stark vereinfacht. Außerdem ist das Graphmodell leicht erweiterbar: sollten neue Informationen hinzukommen (z. B. genetische Analysen), so können diese leicht als neue Datenknoten in das Modell integriert werden.

Der hier vorgestellte Ansatz liefert neue Möglichkeiten, klinische Daten zu nutzen. Neben Methoden wie Data Mining oder Mustererkennung steht die Benutzung als Wissensbasis in Kliniken im Vordergrund. Die Graphdatenbank aus klinischen Daten soll dazu in einem nächsten Schritt in Kooperation mit einer Klinik einer Usability-Evaluierung unterzogen werden. So können die Auswirkungen dieser neuen Sichtweise auf klinische Daten und die damit einhergehenden Möglichkeiten zur Datennavigation und Mustererkennung in Kliniken untersucht werden.

Referenzen:

- [1] J. Adler-Milstein, A. J. Holmgren, P. Kralovec, C. Worzala, T. Searcy und V. Patel, "Electronic health record adoption in US hospitals: the emergence of a digital "advanced use" divide", *J Am Med Inform Assoc*, Jg. 24, Nr. 6, S. 1142–1148, <https://academic.oup.com/jamia/article-pdf/24/6/1142/20605502/ocxo8o.pdf>, 2017.
- [2] ICIJ, The Panama Papers: Exposing the Rogue Offshore Finance Industry - ICIJ. [Online] Verfügbar unter: <https://www.icij.org/investigations/panama-papers/>. Zugriff am: 22. August 2019.
- [3] M. Hunger und W. Lyon, Analyzing the Panama Papers with Neo4j: Data Models, Queries & More. [Online] Verfügbar unter: <https://neo4j.com/blog/analyzing-panama-papers-neo4j/>. Zugriff am: 22. August 2019.
- [4] B.-H. Yoon, S.-K. Kim und S.-Y. Kim, "Use of Graph Database for the Integration of Heterogeneous Biological Data" (eng), *Genomics & informatics*, Jg. 15, Nr. 1, S. 19–27, 2017.
- [5] V. Touré, A. Mazein, D. Waltemath, I. Balaur, M. Saqi, R. Henkel, J. Pellet und C. Auffray, "STON: exploring biological pathways using the SBGN standard and graph databases" (eng), *BMC bioinformatics*, Jg. 17, Nr. 1, 2016.
- [6] G. Summer, T. Kelder, K. Ono, M. Radonjic, S. Heymans und B. Demchak, "cyNeo4j: connecting Neo4j and Cytoscape" (eng), *Bioinformatics (Oxford, England)*, Jg. 31, Nr. 23, S. 3868–3869, 2015.
- [7] A. Fabregat, F. Korninger, G. Viteri, K. Sidiropoulos, P. Marin-Garcia, P. Ping, G. Wu, L. Stein, P. D'Eustachio und H. Hermjakob, "Reactome graph database: Efficient access to complex pathway data" (eng), *PLoS computational biology*, Jg. 14, Nr. 1, 2018.
- [8] D. Bottomly, S. K. McWeeney und B. Wilmot, "HitWalker2: visual analytics for precision medicine and beyond" (eng), *Bioinformatics (Oxford, England)*, Jg. 32, Nr. 8, S. 1253–1255, 2016.
- [9] A. Shoshi, R. Hofestädt, O. Zolotareva, M. Friedrichs, A. Maier, V. A. Ivanisenko, V. E. Dosenko und E. Y. Bragina, "GenCoNet – A Graph Database for the Analysis of Comorbidities by Gene Networks" (eng), *Journal of integrative bioinformatics*, Jg. 15, Nr. 4, 2018.
- [10] J. Mullen, S. J. Cockell, P. Woollard und A. Wipat, "An Integrated Data Driven Approach to Drug Repositioning Using Gene-Disease Associations" (eng), *PloS one*, Jg. 11, Nr. 5, 2016.

- [11] A. Lysenko, I. A. Roznovăț, M. Saqi, A. Mazein, C. J. Rawlings und C. Auffray, "Representing and querying disease networks using graph databases" (eng), BioData mining, Jg. 9, 2016.
- [12] T. Ruan, Y. Huang, X. Liu, Y. Xia und J. Gao, "QAnalysis: a question-answer driven analytic tool on knowledge graphs for leveraging electronic medical records for clinical research" (eng), BMC medical informatics and decision making, Jg. 19, Nr. 1, 2019.
- [13] A. E. W. Johnson, T. J. Pollard, L. Shen, L.-W. H. Lehman, M. Feng, M. Ghassemi, B. Moody, P. Szolovits, L. A. Celi und R. G. Mark, "MIMIC-III, a freely accessible critical care database" (eng), Scientific data, Jg. 3, 2016.
- [14] CDC/National Center for Health Statistics, International Classification of Diseases, Ninth Revision, Clinical Modification (ICD-9-CM). [Online] Verfügbar unter: <https://www.cdc.gov/nchs/icd/icd9cm.htm>. Zugriff am: 22. August 2019.
- [15] Neo4j Inc., Neo4j Graph Platform – The Leader in Graph Databases. [Online] Verfügbar unter: <https://neo4j.com/>. Zugriff am: 22. August 2019.

Fördergeber:



BayWISS Verbundkolleg Gesundheit

Kontakt:



Oliver Haas, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

o.haas@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Eva Rothgang

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

e.rothgang@oth-aw.de

Zusammenfassung

Im Rahmen des fakultätsübergreifenden Projektes "Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden" (ISAC@OTH-AW) beschäftigt sich Teilprojekt 4 mit der „Datenanalyse und Entwicklung neuartiger Bedienkonzepte zur Steuerung und Überwachung von digitaler Produktion“. Das Projekt wird durch die Initiative Bayern Digital [1] gefördert. Im Zuge einer Proof-of-Concept-Studie wird, begleitend durch ein Promotionsprojekt, eine Prototypen-Anwendung entwickelt. Alle Informationen mit deren Ausprägungen sollen schnell wahrnehmbar sein, um einen Vergleich zu ermöglichen. Ziel ist es Interaktionskonzepte und Visualisierungen auszuarbeiten, um die Komplexität der Informationen zu reduzieren.

Abstract

As part of the interfaculty project the "Industry Software Application Center at the OTH Amberg-Weiden" (ISAC@OTH-AW), subproject 4 focuses on "Data analysis and development of new user controls for the control and monitoring of digital production". The project is funded by the "Initiative Bayern Digital" [1]. As a proof-of-concept study, a prototype application will be developed in conjunction with a PhD project. The aim is to develop interaction concepts and visualizations to reduce the complexity of the information. In order to make all information with its characteristics perceptible as quickly as possible to enable a comparison.

1 Einleitung

Aufgrund von Problemen mit immer größeren Datenmengen [2] ist es wichtig User-Centered Softwaresysteme [vgl. 3] für die Informationsvisualisierung zu entwickeln. Ziel soll sein, die Menge an Informationen besser handhabbar zu machen [4]. Gerade im Industriebereich, zum Beispiel in der Produktion, sind Applikationen gefragt, die eine Verarbeitung der einzelnen Maschinen-Daten nachvollziehbar wiedergeben und eine Analyse der Daten ermöglichen [vgl. 5]. Eine große Herausforderung bei der Arbeit mit solchen Werkzeugen ist die Komplexität der Daten [vgl. 5, 6] und deren Präsentation als Gesamtbild. Beim Einsatz von Übersichtskarten kommen weitere Probleme zur schnellen kognitiven Erfassung von Daten [7] hinzu.

2 Methodische Vorgehensweise

Eine Anwendung zur Präsentation unterschiedlichster Daten im Produktionsumfeld braucht ein interaktives Informationssystem. Die Informationsdichte soll durch

schnelle und einfache Navigation [vgl. 8], Übersicht, Filterung und schließlich Detailansichten zuverlässig nutzbar gemacht werden [vgl. 9]. Um zu untersuchen, wie für eine interaktive Analyse-Map-Anwendung die Daten am besten aufbereitet werden können, wurde die Konzeptbildung mittels deskriptiv/explorativ orientierter Vorstudien begutachtet. Auf Basis des Referenzmodells der Informationsvisualisierung wurde ein eigenes Modell entwickelt. Durch agile Entwicklung soll ein Alpha Release der Analyse-Map-Anwendung, angelehnt an die in ISO 9241-210 [10], entwickelt werden. Später soll ein verbesserter Beta Release mittels synchroner Remote Usability Tests und/oder A/B-Tests getestet werden [vgl. 11, 12–15].

2.1 Ansatz

Die Untersuchung der Weiterentwicklung des Referenzmodells der Informationsvisualisierung zeigt, dass von z. B. Ellis, Cox und Hall [16] über Belkins Modell des „Intelligenten Information Retrieval“ [17] weiter zu dem "Kognitiv erweiterten Modell für Information Retrieval"

von Landwich et. al [18] eine Änderung erkennbar ist. Dem Nutzer selbst wird bei der Modellbildung eine immer tragendere Rolle zugeschrieben. Dadurch lässt sich folgende These aufstellen: Bei der Modellbildung für Informationsprozesse besteht eine Tendenz, immer stärker auf den User zu fokussieren und dessen kognitive Verarbeitungsfähigkeit als Teil des Informationssuchprozesses miteinzubeziehen.

2.2 Modellbildung

Aus dieser These wurde ein eigenes Modell entwickelt, das eine höchstmögliche Deckung von Bedürfnis und Ausprägung der Unit of Retrieval (UoR) als Ziel hat. Es soll eine Anwendung geschaffen werden, die es ermöglicht, multiparametrische, relationale Daten in einem entsprechenden Kontext so zu präsentieren, dass die Suche durch Gewichtung und Präferenz in den Daten schnell und nachvollziehbar zum Erfolg führt. Es zählt besonders der Grundgedanke, die Rolle und Fähigkeit des Users in den Mittelpunkt zu stellen. Der User soll die Daten interpretieren, kognitiv wahrnehmen und dann die Auswahl und Gewichtung der Daten beeinflussen [vgl. 19]. Diese stetige User-Interaction mit der Anwendung wird als User „perefine“ bezeichnet. Als Akronym für die Vereinigung der Prozesse [cognitive] user per[ception], refl[ection] [and] in[t]e[r]action.

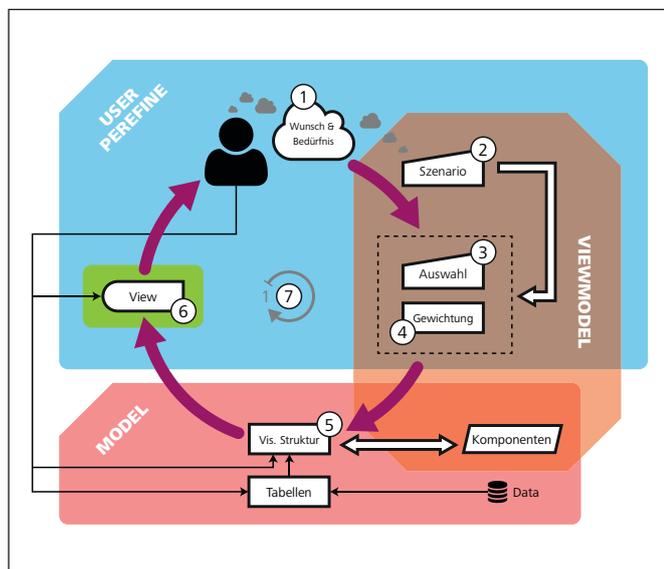


Abbildung 1: Interaktions- und Visualisierungsmodell – als Projektion auf MVVM-Modell

Daraus leitet sich ein Interaktions- und Visualisierungsmodell (vgl. Abbildung 1) ab, welches aus einer User Centered Perspektive iterativ die folgenden Schritte durchläuft: 1. Ein Informationsbedürfnis wird als Wunsch abstrahiert und in 2. ein Szenario überführt, welches übergeht in 3. eine Auswahl an Kriterien, Komponenten, 4. die gewichtet werden. 5. Dieses bildet die Basis für visuelle Struktur, 6. die in einer View präsentiert wird. 7. Dann erfolgt Reflektion und Verarbeitung und gegebenenfalls wird durch Anpassung iteriert.

Diese einzelnen Schritte sind in einer Rotationschleife zusammengefasst, so dass zum Ausdruck kommt, wie eng alle Elemente mit der kognitiven Wahrnehmung und Reflektionsfähigkeit des Users zusammenhängen.

2.3 Hintergrund

Um neue innovative Konzepte umzusetzen, war es nötig, sich vor allem auf die Ergebnispräsentation zu konzentrieren. Es sollte nicht darin münden, wie bei vorherrschenden Trends [vgl. 20], schwer nachvollziehbare, simple Vorschläge – basierend auf vermeintlichen Nutzer-Präferenzen – als Ergebnisse zu präsentieren. Im Sinne des neu entwickelten Konzepts des "User PERIFINEs" entstand die Idee, dem Nutzer die Möglichkeit zu bieten, sowohl die Units of Retrieval (UoR), gemeinsam mit den vorselektierten Ausprägungen, in Kombination mit allen vorhandenen übrigen Merkmalen in einer Ansicht erfahrbar zu machen. Dazu wurden verschiedene Visualisierungen und Diagramme untersucht und verglichen. Das Chord-Diagramm wurde mittels Anpassungen und Modifikationen so umgestaltet, dass es möglich war, alle wichtigen Faktoren gemeinsam in einer Ansicht darzustellen und zusätzlich alle vorhandenen Verknüpfungen aufzuzeigen (vgl. Abbildung 2). Somit hat der Nutzer die Möglichkeit, die für ihn relevanten Faktoren, bei beispielsweise einer differenzierten Lagerhaltung, vorauszuwählen und über die Verteilung weiterer Kriterien die Übersicht über die verschiedensten Standorte zu erhalten. Somit ist die Reflexion bestimmter Parameter in Bezug auf verschiedene Standorte überhaupt erst möglich.

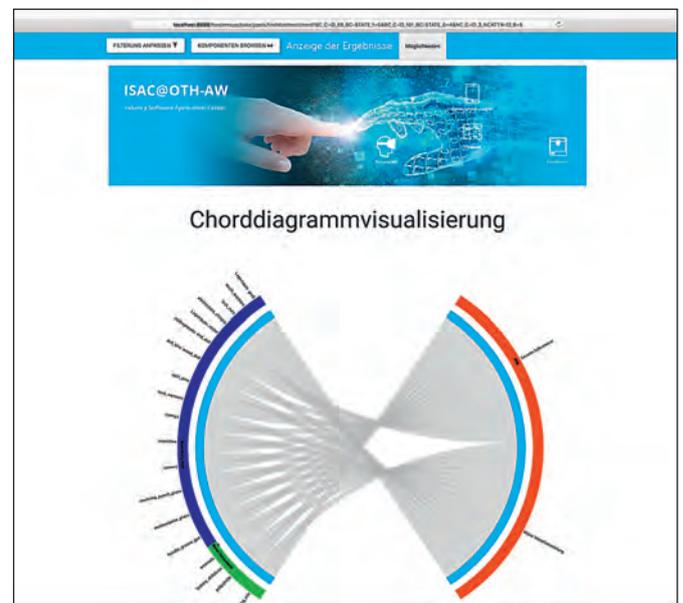


Abbildung 2: Ergebnispräsentation mit UoR auf der rechten Seite und gewählten Kategorien (grün) und übrigen (blau) in einer Graphik

Analog zu diesem Ansatz wurde auch eine kartenbasierte Darstellung der Faktoren umgesetzt. Dem Anspruch, alle wichtigen Faktoren auf einmal in einer Karte zu visualisieren, konnte man nicht gerecht werden. Dafür wurde aber ein Konzept entwickelt, die ausgewählten Faktoren

zu aggregieren, um so die Ausprägung über verschiedene Standorte möglichst intuitiv wahrnehmbar zu machen (vgl. Abbildung 3).

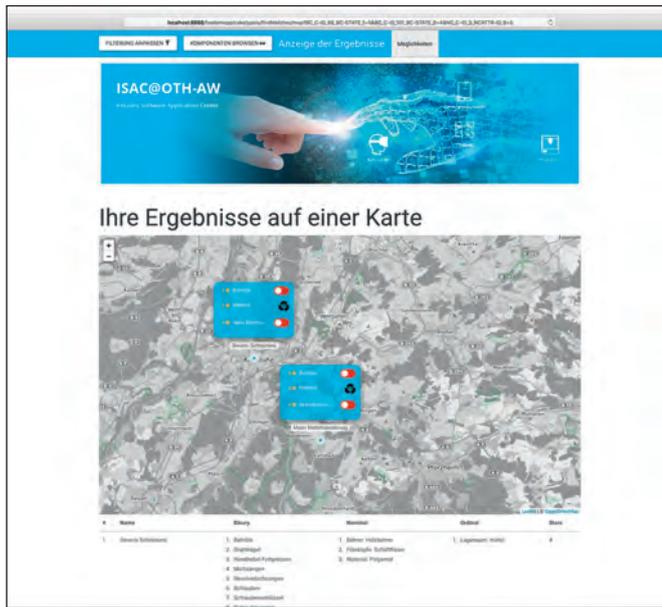


Abbildung 3: Aggregierte Kartenansicht

3 Ausblick

In Anbetracht guter Gebrauchstauglichkeit des Modells sollen weitere Anwendungsbereiche aufgezeigt werden. Die interaktive Analyse-Map-Anwendung mit den einzelnen Interaktions- und Visualisierungs-Bausteinen soll auch für die Datenanalyse in anderen Teilprojekten nutzbar gemacht werden. Ziel ist es, alles in einem gemeinsamen Industrie 4.0 Demonstrator zusammenzufassen, um der Aufgabe gerecht zu werden, kleineren und mittleren KMUs den Weg in die einfache Datenanalyse im industriellen Umfeld zu erleichtern.

Referenzen:

- [1] L. u. E. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Strategie BAYERN DIGITAL: Wirtschaftsministerium Bayern, <https://www.stmwi.bayern.de/digitalisierung/bayern-digital/>, zuletzt Zugriffen am: 09.08.19
- [2] J. Lange, 2009, Frankfurt am Main, Datenflut – Fluch oder Segen? Wie Sie mit Enterprise Search einfach und sicher Informationen finden. Ein strategisches Werkzeug für Unternehmen, 1. Auflage. Frankfurter Allgemeine Buch
- [3] C. Macaulay, D. Sloan, X. Jiang, P. Forbes, S. Loynton, J. R. Swedlow, and P. Gregor, 2009, Usability and User-Centered Design in Scientific Software Development, IEEE Softw., Vol. 26, Nr. 1, S. 96–102,
- [4] J. F. Gantz, 2008, The Diverse and Exploding Digital Universe, IDC white paper, Vol. 2,
- [5] A. Roth, 2016, Leinfelden-Echterdingen, Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. S. 272, Springer Gabler
- [6] P. Longley, 2011, Hoboken, NJ, Geographic Information Systems & Science, 3. Ausgabe. S. XIX, 539, Wiley
- [7] C. Xu, C. Yang, J. Li, J. Xia, X. Qu, M. Sun, Y. Xu et al., 2011, Washington, DC, A Service Visualization Tool for Spatial Web Portal, In: Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications, hg. v. S. Y. Berkovich, S. 1–6, ACM
- [8] R. Mazza, 2009, Guildford, Surrey, Introduction to Information Visualization. S. XII, 180, Springer London
- [9] B. Shneiderman, 2003, San Francisco, The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations, In: The Craft of Information Visualization, hg. v. B. B. Bederson and B. Shneiderman, S. 364–371, Morgan Kaufmann
- [10] DIN EN, 2010, ISO 9241-210 Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme.
- [11] S. Carpendale, 2008, Berlin, Heidelberg, Evaluating Information Visualizations, In: Information Visualization: Human-Centered Issues and Perspectives, hg. v. A. Kerren, J. T. Stasko, J.-D. Fekete, and C. North, S. 19–45, Springer Berlin Heidelberg
- [12] C. W. Cleverdon, 1974, User Evaluation of Information Retrieval Systems, Journal of Documentation, Vol. 30, Nr. 2, S. 170–180,

- [13] G. Gediga, K.-C. Hamborg, and I. Düntsch, 2002, Evaluation of software systems, Encyclopedia of computer science and technology, Vol. 45, Nr. (Supplement) 30, S. 127–53,
- [14] D. Kelly, 2009, Methods for evaluating interactive information retrieval systems with users, Foundations and Trends in Information Retrieval, Vol. 3, Nr. 1–2, S. 1–224, Now Publishers Inc
- [15] M. L. Wilson, 2011, Search User Interface Design, Synthesis lectures on information concepts, retrieval, and services, S. 1–144, Morgan & Claypool Publishers
- [16] D. Ellis, D. Cox, and K. Hall, 1993, A Comparison of the Information-seeking Patterns of Researchers in the Physical and Social Sciences, Journal of Documentation, Vol. 49, Nr. 4, S. 356–369,
- [17] N. J. Belkin, 1996, Intelligent information retrieval: whose intelligence?, ISI, Vol. 96, S. 25–31,
- [18] P. Landwich, M. Hemmje, and N. Fuhr, 2007, Konstanz, Ansatz zu einem konzeptionellen Modell für interaktive Information-Retrieval-Systeme mit Unterstützung von Informationsvisualisierung, In: Open Innovation. Proc. 10. Internationales Symposium für Informationswissenschaft, vol. 46, hg. v. A. Osswald, M. Stempfhuber, and C. Wolff, (Schriften zur Informationswissenschaft), S. 327–332, UVK Konstanz
- [19] V. Stephan, 2017, Glückstadt, Information Visualization of Environment Maps for Complex, Relational Data for Better Reflected Decision Making on the Example of Food, In: Everything changes, everything stays the same? Understanding information spaces proceedings of the 15th International Symposium on Information Science (ISI 2017), Berlin, Germany, 13th–15th March 2017, hg. v. M. Gäde, V. Trkulja, and V. Petras, S. 321–328, Verlag Werner Hülsbusch
- [20] J. Aspinall, The For You tab comes to iOS and over 130 countries on Android, <https://www.blog.google/products/maps/you-tab-comes-ios-and-over-130-countries-android/>, zuletzt Zugriffen am: 12.08.19

Fördergeber:

Initiative BAYERN DIGITAL



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Kontakt:



Prof. Dr. Dieter Meiller

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

d.meiller@oth-aw.de
www.isac-oth.de



Veit Stephan, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

v.stephan@oth-aw.de
www.isac-oth.de

Zusammenfassung

Im Leichtbau sind Verbundbauweisen etabliert, insbesondere Sandwichkonstruktionen mit tragenden Deckschichten aus Faser-Kunststoff-Verbunden. Anhand eines Monocoques/CFK-Laminats wird erläutert, wie sich Bauteile durch Mehrskalen-Simulation/Homogenisierung mithilfe der Finite-Elemente-Methode berechnen lassen.

Abstract

Composite design is well established in light weight construction, especially sandwich panels with a lightweight honeycomb core and facesheets made of fiber-reinforced plastics. A carbon fiber laminat is considered/homogenized via Finite Element Analysis (micro scale). FE-simulation of a 3-point bending test and a torsion test verify the simulation strategy on the macro scale.

1 Einleitung

Das Running Snail Racing Team an der OTH Amberg-Weiden ist in der Formula Student aktiv, einem internationalen Konstruktionswettbewerb. Jede Saison wird ein Formelrennwagen konstruiert und gefertigt. Der RS19 besitzt ein Monocoque aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK), eine selbsttragende Struktur mit geringem Gewicht und hoher Torsionssteifigkeit.

Diese Schalenbauweise zählt zu den Verbundbauweisen im Fahrzeugleichtbau. Abbildung 2 zeigt den Aufbau der Schale. Die dreischichtige Verbundkonstruktion besteht aus den tragenden Deckschichten (Faser-Kunststoff-Verbund CFK) und einem stützenden Kern aus Aluminiumwaben. Der Wabenkern ist schubfest mit den Deckschichten verklebt/verbunden.

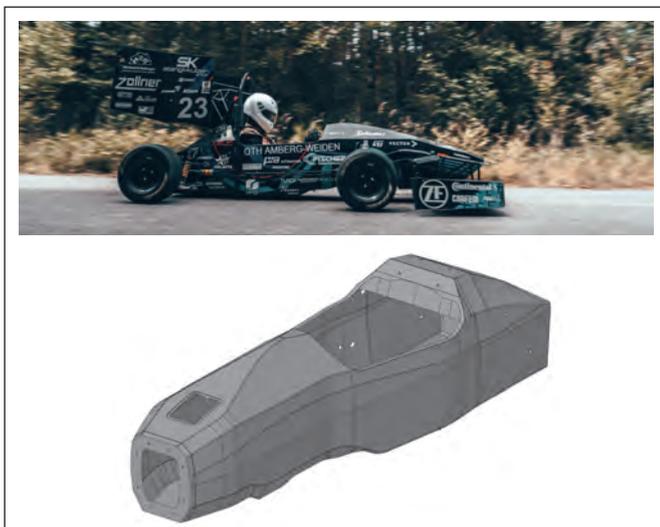


Abbildung 1: Formelrennwagen RS19 und CFK-Monocoque

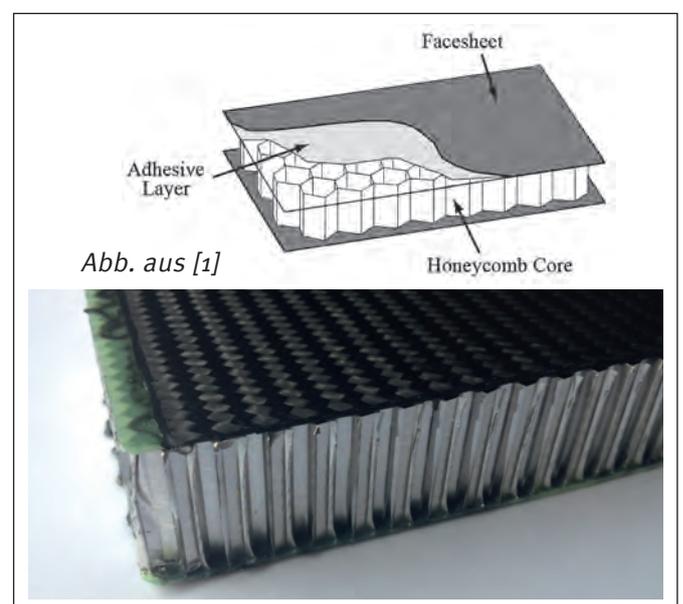


Abbildung 2: Sandwichplatte mit Deckschichten und Wabenkern

Im Folgenden wird die Berechnung des Monocoques im Rahmen der Finite-Elemente-Methode (FEM) erläutert. Die Simulation erfolgt auf mehreren Skalen. Zunächst wird die Mikrostruktur aus Faser und Matrix betrachtet, um gemittelte Materialparameter für den Faser-Kunststoff-Verbund zu erhalten (Mikroskala). Zur Modellierung des Wabenkerns wird eine einzelne Aluminiumwabe simuliert (Mesoskala). Auf der Makroskala werden ein 3-Punkt-Biegeversuch und die Verwindung des Monocoques im Torsionsversuch gerechnet. Versuchsdaten sowie das CAD-Modell wurden vom Running Snail Racing Team zur Verfügung gestellt, Vielen Dank für die Unterstützung!

2 Homogenisierung

Wabenkern und Faser-Kunststoff-Verbund (CFK) sind inhomogene Strukturen. Zur Berechnung des Monocoques werden sie homogenisiert, d. h. durch ein homogenes Material/Kontinuum ersetzt, welches makroskopisch dasselbe (anisotrope) Formänderungsverhalten besitzt. Die zugehörigen Materialparameter werden an repräsentativen Volumenelementen (RVE) bzw. Einheitszellen berechnet.

2.1 Homogenisierung der Faser-Kunststoff-Verbunde

Die tragenden Deckschichten sind mehrlagig aufgebaut. Jede Einzellage besteht aus Carbon-Fasern, welche in eine Matrix aus Epoxid-Harz eingelassen sind. Verarbeitet werden vorimprägnierte, textile Faser-Matrix-Halbzeuge, welche unter Druck und Temperatur aushärten, sog. Prepregs (preimpregnated fibres). Die verstärkenden Carbon-Fasern liegen entweder nur in einer Richtung (unidirektional - UD) oder sich überkreuzend in zwei Richtungen (Köpergewebe - twill fabric).

Aufgrund der Faserorientierung ist das Materialverhalten des Faser-Kunststoff-Verbunds anisotrop. Das (elastische) Formänderungsverhalten wird durch das orthotrope Materialgesetz beschrieben:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \tau_{12} \\ \tau_{13} \\ \tau_{23} \end{bmatrix}$$

Die E-Moduli in Faserrichtung sind bekannt, sie betragen laut Datenblatt des Herstellers für das UD-Prepreg $E_1=215.000$ MPa und für das Gewebe-Prepreg $E_1 = E_2 = 100.000$ MPa. Die übrigen Materialparameter werden simulativ am jeweiligen RVE ermittelt. Abbildung 3 zeigt das gewählte RVE für die unidirektional verstärkte Matrix (UD-Prepreg) [2]. Vereinfachend wird angenom-

men, dass die Fasern (dunkelgrau) kreiszylindrisch und hexagonal angeordnet sind. Für die Hochmodulfaser wird ein transversal-isotropes, für die Matrix (hellgrau) ein isotropes Materialverhalten angenommen, Faser- und Matrixdaten werden der Literatur [3] entnommen.

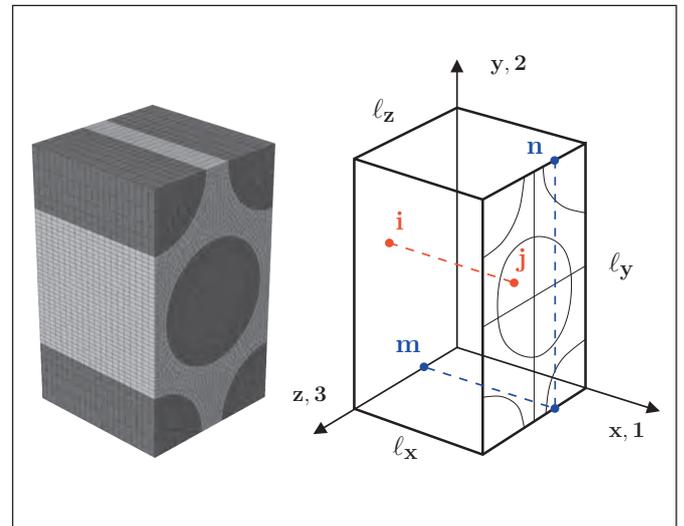


Abbildung 3: Repräsentatives Volumenelement (RVE)

Zur Berechnung der fehlenden Materialparameter werden an den Rändern des RVE Verschiebungen aufgeprägt/Verzerrungen eingepreßt und die zugehörigen (mittleren) Spannungen berechnet. Die Materialparameter folgen durch Einsetzen in das Materialgesetz.

Das RVE repräsentiert eine Vielzahl von Fasern, weil es in alle Koordinatenrichtungen periodisch fortsetzbar ist, allerdings nur dann, wenn auch das verformte RVE periodisch fortgesetzt werden kann. Dies wird durch Randbedingungen an gegenüberliegenden/korrespondierenden Knoten sichergestellt. Dabei ist zwischen Flächen-, Kanten- und Eckknoten zu unterscheiden. Abbildung 3 zeigt exemplarisch zwei Flächenknoten (rot) und zwei Kantenknoten (blau). Für die Knotenverschiebungen u_k mit $k \in \{1,2,3\}$ werden die folgenden Bedingungen gesetzt:

$$\begin{aligned} u_1^j &= u_1^i + \varepsilon_{xx} \cdot l_x \\ u_2^j &= u_2^i + \varepsilon_{xy} \cdot l_x \\ u_3^j &= u_3^i + \varepsilon_{xz} \cdot l_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_1^n &= u_1^m + \varepsilon_{xx} \cdot l_x + \varepsilon_{xy} \cdot l_y \\ u_2^n &= u_2^m + \varepsilon_{xy} \cdot l_x + \varepsilon_{yy} \cdot l_y \\ u_3^n &= u_3^m + \varepsilon_{xz} \cdot l_x + \varepsilon_{yz} \cdot l_y \end{aligned}$$

Das Auffinden korrespondierender Knoten und das Setzen der Randbedingungen erfolgt mittels Python-Scripting. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Deformationen für eine Streckung ε_{11} und eine Gleitung ν_{23} .

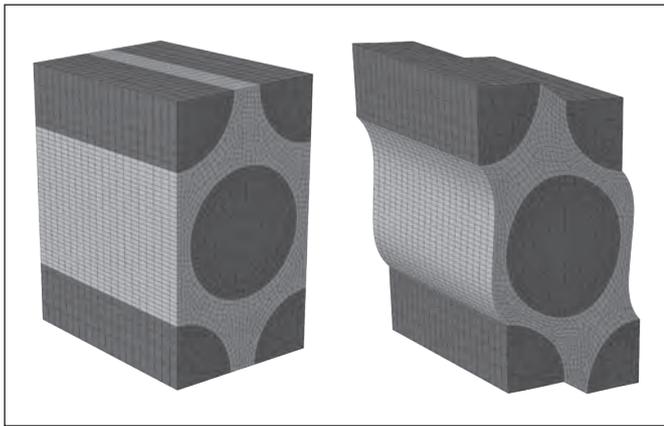


Abbildung 4: Streckung ϵ_{11} und Gleitung γ_{23}

2.2 Homogenisierung des Wabenkerns

Das makroskopische Formänderungsverhalten des Wabenkerns wird ebenfalls durch das orthotrope Materialgesetz beschrieben. Im Gegensatz zum Faser-Verbund kann jedoch kein RVE sinnvoll gewählt werden, da die Waben nicht ausgefüllt sind/keine mittlere Spannung im Kontinuum berechnet werden kann. Daher wird eine Einzelwabe betrachtet, welche an ihren Rändern belastet wird. Die fehlenden Materialparameter werden durch Auswerten der Verschiebungen/Berechnung einer mittleren Dehnung ermittelt.

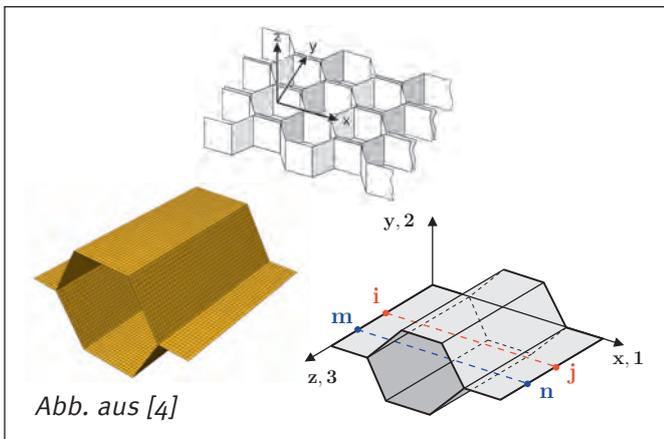


Abb. aus [4]

Abbildung 5: Wabenkern und Einheitszelle

Wie bei den RVE muss auch an der Einheitszelle sichergestellt sein, dass die verformte Wabe periodisch fortsetzbar ist bzw. dass an gegenüberliegenden Kanten und Flächen keinerlei Klaffungen oder Durchdringungen der Schalelemente auftreten. Hierzu sind an korrespondierenden Knoten Randbedingungen für die Knotenverschiebungen u_k und -verdrehungen φ_k zu setzen. Abbildung 5 zeigt exemplarisch zwei Paare benachbarter Knoten an gegenüberliegenden Kanten. Die zugehörigen Zwangsbedingungen lauten:

$$u_k^j - u_k^i = u_k^n - u_k^m \quad \text{für } k \in \{1, 2, 3\}$$

$$\varphi_k^j = \varphi_k^i \quad \text{für } k \in \{1, 2, 3\}$$

2.3 3-Punkt-Biegung

Zur Validierung wird ein 3-Punkt-Biegeversuch betrachtet. Das Testpanel hat einen Lagenaufbau 45f/ 15/15/o/45f/of/core/sym. Abbildung 6 zeigt das Kraft-Weg-Diagramm mit einer guten Übereinstimmung von Versuch und Simulation im elastischen Bereich.

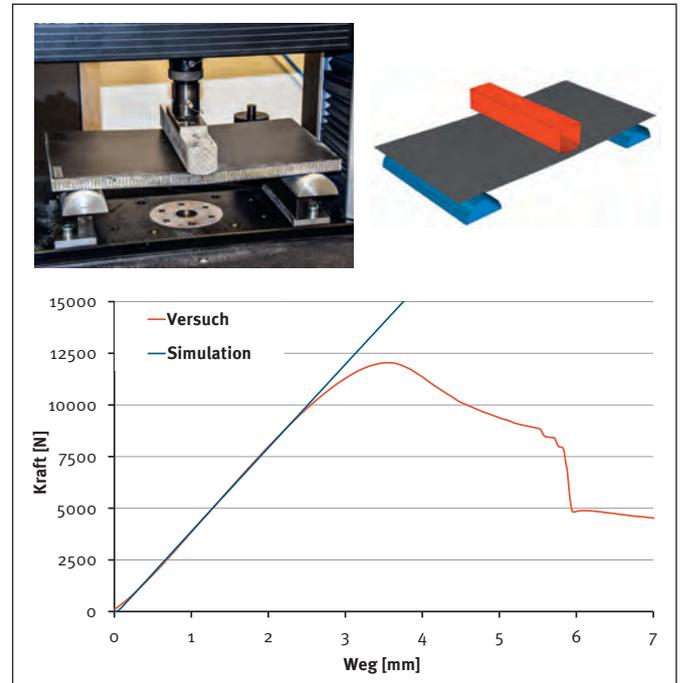


Abbildung 6: 3-Punkt-Biegung

3 Torsionsversuch am Monocoque

Die Torsionssteifigkeit des Monocoques wird experimentell bestimmt. Hierzu wird der Rennwagen an den Radträgern der Hinterachse eingespannt und an der Vorderachse über ein Gestänge tordiert. Abbildung 7 zeigt das FE-Modell des Torsionsversuchs mit Monocoque, Fahrwerken, Belastungsgestänge, Überrollbügel und der einwirkenden Kraft.

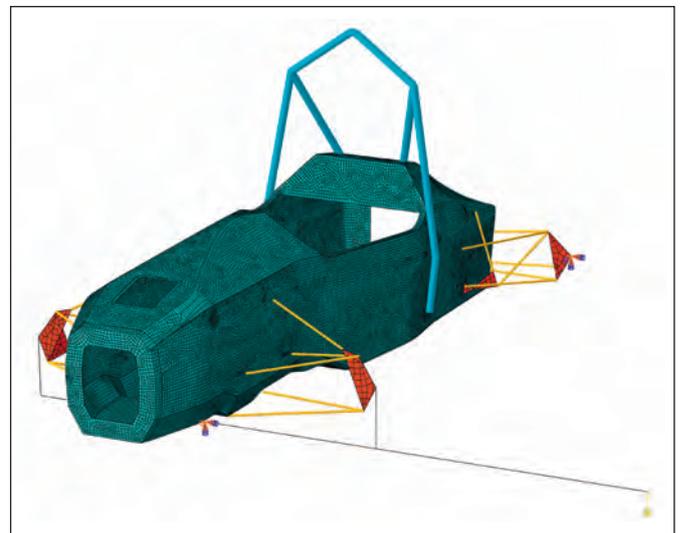


Abbildung 7: Torsion - FE-Modell

An der Unterseite des Monocoques werden 10 Messuhren appliziert, um die vertikale Verschiebung der jeweiligen Bodenpunkte aufzunehmen. Aus der Verschiebung wird die Verwindung des Fahrzeugbodens am Messquerschnitt berechnet. In der Simulation wird ergänzend die Verwindung der Seitenwand ausgewertet. Abbildung 8 zeigt den berechneten Verlauf der (relativen) Verwindung in Fahrzeuginnenraumrichtung und die 10 Messwerte aus dem Versuch. Ergänzend ist die Deformation des Querschnitts an fünf Stellen im Abstand $\Delta x \approx 500$ mm dargestellt (250-fach überhöht).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es werden verschiedene Strategien zur Homogenisierung einer Mikrostruktur umgesetzt. Hiermit lassen sich ein 3-Punkt-Biegeversuch und ein Torsionsversuch plausibel abbilden, wobei die Torsionssteifigkeit des Monocoques überschätzt wird. Hier besteht noch Verbesserungsbedarf. Neben der elastischen Deformation sollen zukünftig auch Plastizität und Schädigung in die Betrachtungen einbezogen werden.

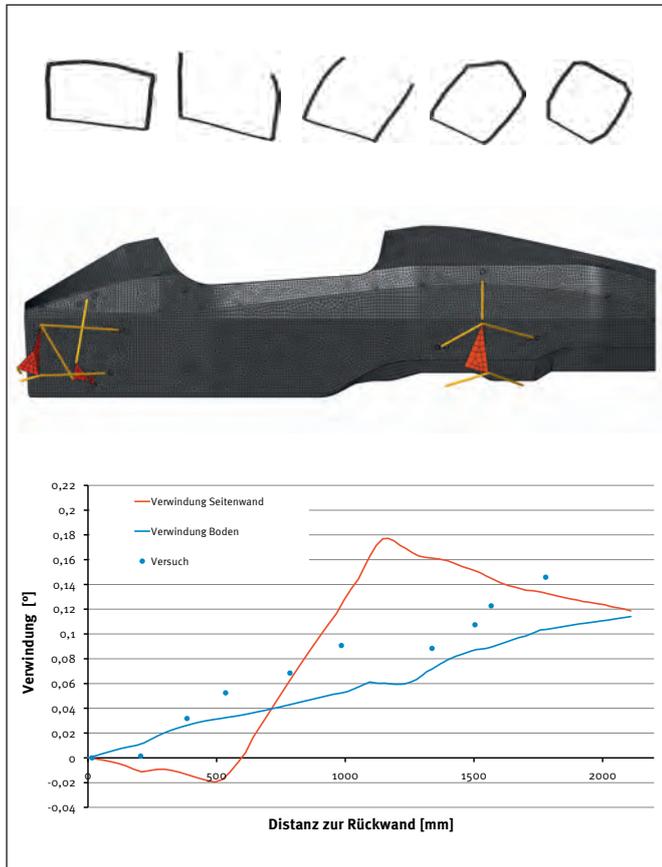


Abbildung 8: Torsion – Verwindung von Seitenwand und Boden

Referenzen:

- [1] Okabe Y. et al., Smart Honeycomb Sandwich Panels with Damage Detection and Shape Recovery Functions, *Advanced Composite Materials* 17, 41–56, 2008
- [2] Barbero E. J., *Finite Element Analysis of Composite Materials Using Abaqus*, CRC Press, 2013
- [3] Schürmann H., *Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden*, Springer, 2007
- [4] HexWeb™ *Honeycomb Sandwich Design Technology*, 2000

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Heinrich Kammerdiener

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

h.kammerdiener@oth-aw.de



**Be a PRO. Join IGZ. | IGZ das SAP Projekthaus für Logistik und Produktion
Top-Arbeitgeber der Region Nordoberpfalz**

PROfessionalität, Engagement und Qualitätsbewusstsein sind die Eckpfeiler unserer Unternehmenskultur. Wenn das auch Ihr Selbstverständnis ist, freuen wir uns auf Ihre Bewerbung. Wir suchen (m/w/d):

Hochschulabsolventen

- Wirtschaftsingenieure – Schwerpunkt Logistik / IT
- Informatiker / Industrieinformatiker
- Betriebswirtschaftler – Schwerpunkt SAP
- Elektro- und Informationstechniker – Schwerpunkt IT

Trainees in der SAP-Softwareentwicklung

- Absolventen technischer Studiengänge mit IT-Kenntnissen und großem Interesse an der Softwareentwicklung
- 6-monatiges Entwickler-Traineeprogramm mit umfassender Einarbeitung in die SAP-Programmierung für Quereinsteiger

SAP-Factory: Integrierte Lehr- und Forschungsplattform „Digitale Fabrik“ an der OTH in Weiden

IGZ unterstützt die OTH Amberg-Weiden beim Auf- und Ausbau der integrierten Lehr- und Forschungsplattform „Digitale Fabrik“.

Auf Basis aktueller SAP Standardsoftware (ERP zzgl. EWM und ME) werden sukzessive wesentliche betriebliche Kernprozesse im Bereich Produktion und Logistik vollständig DIGITAL abgebildet – Dies erfolgt unter Einbeziehung von modernstem technischen Equipment wie z.B. Datenbrille, Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) und Roboter inkl. KI-gestützter Bildverarbeitung, welche sowohl den Studenten in Kursen als auch zur Forschung zur Verfügung stehen.

IGZ fördert diese Aktivitäten u. a. durch die Stellung von technischen Komponenten als Dauerleihgaben und seit Juli 2019 durch die Finanzierung der Stelle einer Projekttechnikerin. Ziel von IGZ ist sowohl die Förderung von Forschung als auch die praxisnahe Ausbildung von weit gesuchten DIGITALISIERUNGS-Ingenieuren in der Region.

IGZ Ingenieurgesellschaft für logistische Informationssysteme mbH | Logistikweg 1 | 95685 Falkenberg | jobs@igz.com | www.igz.com

**WERDE TEIL
UNSERES
TEAMS!**

IN DEN BEREICHEN WERKSTOFFTECHNIK, VERFAHRENS-
TECHNIK, ELEKTROTECHNIK, BAUWESEN, MASCHINENBAU

Mit mehr als 130 Jahren Erfahrung im Glasschmelzwannenbau, bietet HORN eine weit gefächerte Produktpalette im Bereich der Planung, Herstellung und dem Vertrieb von verschiedenen Ofentypen zur Herstellung von Behälterglas, Wirtschaftsglas, Float-, Solar- und Gussglas sowie Spezialglas.

HORN BIETET

- Ein vielfältiges Angebot für Fachkräfte
- Flexible Arbeitszeitmodelle
- Eigenverantwortung
- Eine sichere Zukunft

CHANCEN BEI HORN

- Internationale Erfahrungen sammeln
- Kundennähe bewirken
- Karrieremöglichkeiten
- Leadership Entfaltung

TOP ARBEITGEBER

- Familienfreundlich
- Teamplayer
- Fundamentale Werte
- Marktführer

Deine aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen schickst du per E-Mail an:



HORN Glass Industries AG
Frau Rupprecht-Bouziane
Bergstraße 2
95703 Plößberg

personal@hornglas.de



HORN
GLASS INDUSTRIES

WWW.HORNGLOSS.COM

Jin Tianyu, B.Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O'Connell
Andreas Röhl, M.Eng.
Raphael Lechner, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch
Prof. Luo Fuqiang

Investigation of alternative oxygenated fuels on the emissions of a diesel engine operated CHP unit

Zusammenfassung

In diesem Bericht wird der Einfluss von alternativen, sauerstoffhaltigen Kraftstoffen auf die Abgasemissionen eines dieselmotorischen Blockheizkraftwerks (BHKW) präsentiert. Der Sauerstoffanteil des Kraftstoffs hat eine große Auswirkung auf die Emissionen von Dieselmotoren. Daher kann das Beimischen von sauerstoffhaltigen Kraftstoffen zu Standardkraftstoffen eine interessante Maßnahme sein, um die Abgasemissionen im Hinblick auf die strengen Grenzwerte in Deutschland zu reduzieren. Im Rahmen der Versuche wurden vier unterschiedliche Kraftstoffe untersucht: Polyoxymethylenedimethylether (OME) und 1-Butanol als sauerstoffhaltige Kraftstoffe sowie Referenzdiesel (B0) und Biodiesel als Basiskraftstoffe. Diese Kraftstoffe wurden zu unterschiedlichen Verhältnissen gemischt und im BHKW eingesetzt. Die Versuche zeigten, dass die Effizienz des BHKWs von den Kraftstoffmischungen nicht beeinträchtigt wurde. Ein Einfluss der sauerstoffhaltigen Kraftstoffe auf die Abgasemissionen konnte nachgewiesen werden. Durch das Erhöhen des Sauerstoffanteils im Kraftstoffgemisch konnte eine Reduzierung der NO_x -Emissionen beobachtet werden. Die CH_4 und Formaldehydemissionen waren generell niedrig. Die CO -Emissionen wurden kaum beeinflusst. Dies ist durch das dieselmotorische Brennverfahren mit Wirbelkammer bedingt.

Abstract

This paper presents and discusses the effect of alternative, oxygenated fuels on the emissions of a diesel engine operated CHP unit. The oxygen ratio of fuel has a large influence on the emissions of diesel engines. Therefore blending oxygenated fuels with standard fuels can help reduce certain exhaust emission components in regard to the stringent emission standards in Germany. Four kinds of fuel including polyoxymethylene dimethyl ethers (OME), 1-butanol fuel as oxygenated fuels as well as reference diesel fuel (B0) and biodiesel as base fuels were investigated. These fuels were mixed in different proportions and then tested on a diesel engine operated CHP unit. The experiments show that the efficiency of the CHP system was not affected by the oxygen ratio of the fuel. Emissions however were affected by mixing oxygenated fuels to the base fuels. A decrease in NO_x emissions could be observed by increasing the oxygen content of the fuel mixtures. The CH_4 and formaldehyde emissions were generally low and the CO emissions were not greatly affected due to the engine being operated with a swirl chamber.

1 Introduction

The Jiangsu University (Zhenjiang, China) and the OTH Amberg-Weiden have been forging a successful cooperation since the early 2000s. In the year 2016 a Joint Laboratory Agreement was signed, which grants researchers and students of both universities mutual free access to each other's facilities. As part of a student exchange Mr. Jin Tianyu, a master student and early-career researcher at the School of Automotive and Traffic Engineering, worked

at the Center of Excellence for Cogeneration Technologies (CECoGen) in Amberg from March 2019 until May 2019 gaining experience in CHP applications and alternative fuels.

The main focus of the exchange was an investigation into the influence of alternative oxygenated fuels on the emissions and efficiency of CHP units. For this propose experiments were carried out on a diesel engine operated CHP at CECoGen. Various fuel mixtures were examined during the experiments, consisting of B0 (reference

diesel fuel), biodiesel, polyoxy methylene dimethyl ether (OME) and 1-butanol. While operating with these fuel mixtures the efficiency and exhaust emissions of the CHP unit were measured. The focus of the emissions measurements were the components carbon monoxide (CO), nitrous oxides (NO_x), methane (CH₄) and formaldehyde (HCHO), which are restricted by German emission regulations.



Figure 1: CHP unit and experimental Setup

2 Investigated Fuels

For the experiments fuel mixtures were created with different ratios, which were to be tested in the CHP unit. Four different fuels were used to create the mixtures. B0 (reference diesel fuel) and biodiesel were chosen as the base fuels for the mixtures; one is a typical fossil fuel and the other a biofuel. Two alternative, oxygenated fuels were chosen for the mixtures: polyoxy methylene dimethyl ether (OME) and 1-butanol. The fuel properties for the investigated fuels are listed in Table 1.

Table 1: Fuel characteristics

Characteristic	SI unit	OME	B0	Bio-diesel	1-butanol [1]
Density @ 15 °C	kg/m ³	1,053	835	883	810
HFRR (lubricity) @ 60 °C	µm	440	214	–	590
Kinematic viscosity @ 40 °C	mm ² /s	1.2	3.0	4.4	2.5
Calorific value (H _v)	MJ/kg	19.9	43.2	37.6	33.0
Cetane number	–	74.7	56.3	53.8	17 – 25
Oxygen content	% (m/m)	44.1	0	10.8	21.6

Polyoxymethylene dimethyl ethers (OME) are synthetic fuels that can be produced from methanol. The synthetic molecule consists of an oxymethylene chain of variable length. The molecular chains are capped with a methyl and a methoxy group at either end. For the investigation

an OME mix consisting of chain lengths between 2 and 5 oxymethylene groups was used. OME has a high oxygen content in the form of C-O bonds replacing the typical C-C bonds of conventional hydrocarbon fuels, resulting in favourable combustion characteristics with regard to particle emissions [2–4].

1-Butanol is a liquid fuel that has also been used as an additive to various diesel fuels [5–8]. It can be produced from renewable sources by alcoholic fermentation of sugar beet, sugar cane or corn. It has similar fluid properties to diesel which makes it more suitable for mixing with diesel than ethanol, for example. Similarly to OME the oxygen content of 1-butanol can cause a decrease in smoke and nitrous oxide emissions in diesel engines [9].

Table 2: Ratio of Fuel Mixtures

Blends	Liquid Fuel 1	Liquid Fuel 2
0, 7, 10, 20, 30, 40, 50 % (Fuel 2)	B0	OME
0, 7, 10, 20, 30, 40, 50 % (Fuel 2)	Biodiesel	OME
0, 7, 10, 20 % (Fuel 2)	B0	1-Butanol
0, 7, 10, 20 % (Fuel 2)	Biodiesel	1-Butanol

3 Experimental Setup and Procedure

The experiments were carried out on a CHP unit test bench in the laboratory for thermodynamics at the OTH Amberg-Weiden. The CHP unit operated with a 3-cylinder diesel engine of the type Kubota D1105-BG. This is a naturally aspirated 4-stroke engine with a swirl chamber, which runs on 100 % liquid fuel. The engine data is listed in Table 3.

Table 3: Engine Data

Base Engine	Kubota D1105-BG
operation process	4-stroke diesel, naturally aspirated engine, swirl chamber
cylinder	3
displacement	1.123 liter
bore	78 mm
stroke	78.4 mm
rotational speed	1500 rpm
injection system	inline diesel injection pump
cooling	water-cooled with exhaust gas heat exchanger

All experiments were carried at full load with the engine generating a stable 5.9 kW of electric power. The measurement setup is depicted in Figure 2. The fuel consumption of the engine was measured gravimetrically using scales of the type Kern DS60KO.2. In order to calculate the thermal heat output of the CHP unit the outgoing and return temperatures of the heating system as well as the mass flow were measured. The exhaust emissions were measured with a FTIR of the type Gasetm CX4000 FTIR Gas Analyser. The residual oxygen content in the exhaust gas was measured separately using a paramagnetic oxygen sensor of the type M&C O₂-Analyser PMA10. The exhaust gas components were measured downstream from the exhaust heat exchanger.

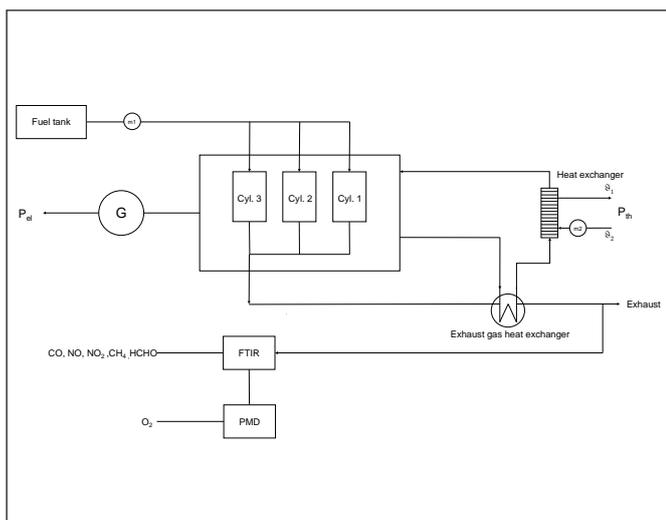


Figure 2: Measurement Setup

For every experiment the engine operated for 5 minutes at full load before starting the efficiency and exhaust measurements simultaneously. The efficiency was measured over a duration of 15 minutes. After every measurement the engine was shut down and the fuel was changed.

4 Experimental Results

4.1 Efficiency

The Figure 3 shows the efficiency of the diesel engine operated CHP unit, with the four different types of blends. The electric efficiency (η_{el}), the heating efficiency (η_{th}) and the total efficiency (η_{total}) of the CHP unit are depicted. The electric efficiency was very stable when operating with all fuel blends. Small discrepancies were found when operating with OME-B0-Blends. The average electric efficiency for these blends was approx. 28%. This is only fractionally lower than the efficiency with reference fuel. The heating efficiency was consistently higher than 60%. Deviation in the heating efficiency can be traced back to varying return flow temperatures from the heating system. Overall the efficiency of the engine was not affected greatly by the use of the alternative fuel blends.

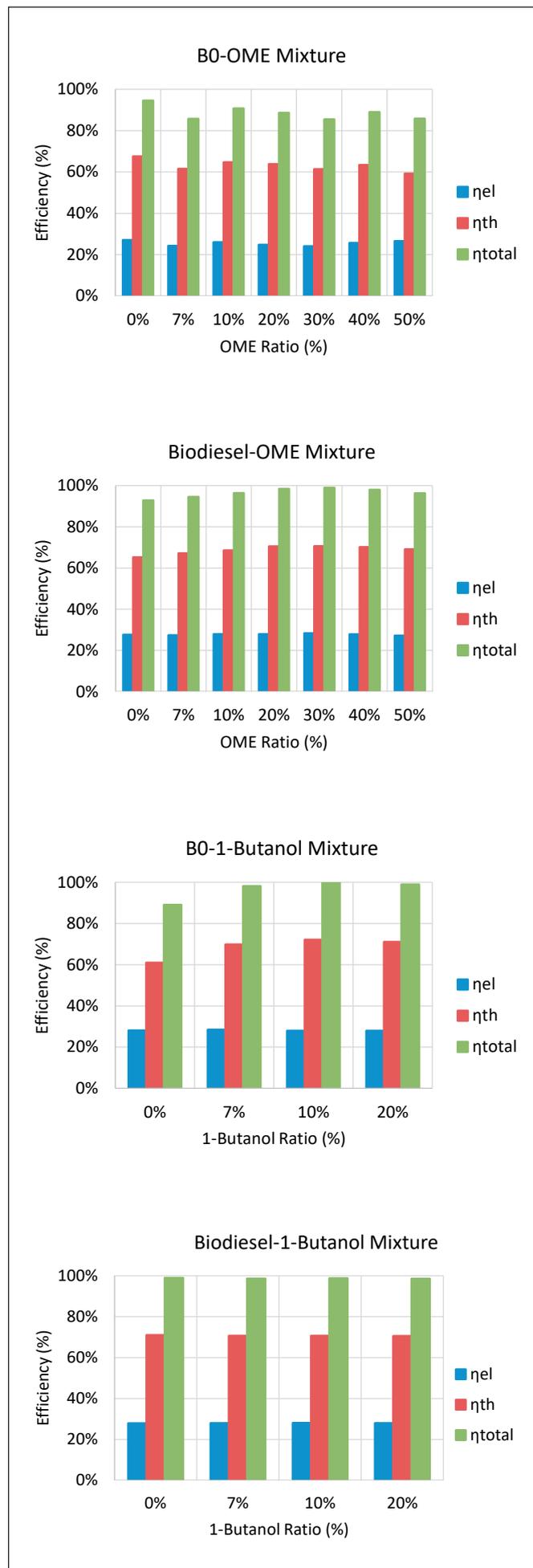


Figure 3: Results of efficiency measurements

4.2 Emissions

For the emissions tests the focus was on exhaust components, which are restricted by German emission standards. These include carbon monoxide (CO), nitrous oxide (NO_x), methane (CH₄) and formaldehyde (HCHO). The Figure 4 shows the NO_x emissions of all four types of blends. NO_x is a term that describes the sum of nitrous oxides in the exhaust gas. This mainly includes NO and NO₂. Both these gases are toxic for the human body and they contribute to the creation of smog. The primary source of nitrous oxide emissions is thermal NO from combustion, which forms NO₂ with oxygen in the exhaust system and later in the ambient. Typical raw diesel engine NO_x emissions consist mostly of NO.

Figure 4 depicts the NO_x emissions in regard to the oxygen content in the fuel mixtures in regard to the German TA Luft @ 5 vol-% residual O₂. The oxygen content of the four neat fuels can be found in Table 1. B0 has no oxygen content and by admixing OME the oxygen content of the fuel mixture could be increased to 25 % (m/m). This increase in oxygen content has a significant influence on the NO_x emissions, with the NO_x emissions decreasing by up to 23 %. When admixing 1-Butanol to B0 the oxygen content of the mixture could be increase to approx. 4 % (m/m). The NO_x emissions also decrease by 3 % for this mixture with the results comparable to the same oxygen content when admixing OME.

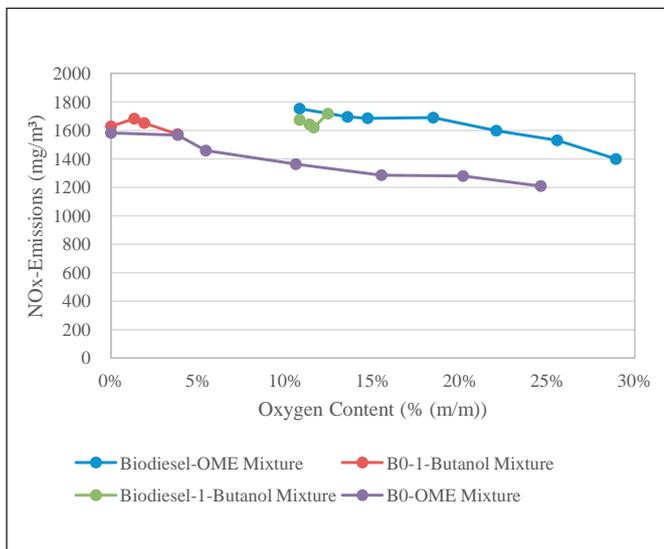


Figure 4: NOx-emissions for the investigated mixtures

Biodiesel has an oxygen content of approx. 10 % (m/m). Despite this the NO_x for neat biodiesel are slightly higher than neat B0. When admixing 1-Butanol the NO_x emissions could be decreased by about 6 %. For biodiesel-OME mixtures an oxygen content of almost 29 mol-% could be reached. The NO_x emissions decreased by 20 % in this case. When comparing the results from the B0-OME mixture with the biodiesel-OME mixture it can be obser-

ved that the oxygen content is not the only influence on the NO_x emissions. The NO_x emissions for the B0 mixtures were generally lower than the biodiesel mixtures despite the higher oxygen content of the biodiesel mixtures. This must be investigated further with a combustion analysis due determine if the combustion properties of B0 are responsible for lower NO_x emissions compared to biodiesel.

When comparing the results of the investigation to previously published reports similar results can be observed. Goga et.al. found that adding 1-butanol to diesel fuel resulted in lower NO_x emissions compared to neat diesel fuel [7]. By adding biodiesel to fuel mixtures the NO_x emissions were found to increase, which could also be observed in our experiment results. Further measurements on a diesel engine with a common-rail injection system and engine indicating for studying the combustion process should be carried out to verify the results.

Figure 5 shows the CO emissions for the four types of fuel mixtures in regard to the oxygen content of the mixtures in regard to the German TA Luft @ 5 vol-% residual O₂. CO is a colourless, odourless and toxic gas. CO emissions from the engine are generally affected by the low combustion temperatures and an oxygen-deficient environment. In theory, the increasing oxygen content of the fuel mixtures should improve the oxidation of CO, thereby reducing CO emissions. However, the results show that only admixing 1-Butanol to B0 resulted in a decrease of CO. The results for the other types of mixture were inconclusive with the CO emission stable or increasing slightly.

When observing the results for the CO emissions in general comparatively low values were detected. This is due to the engine being operated with a swirl chamber. The injected liquid fuel is pre-mixed with air in the swirl chamber before the fuel-air mixture is released into the cylinder. This results in a comparatively homogenous combustible mixture with little oxygen-deficient areas. Therefore very little CO is emitted generally from this type of engine. The methane (CH₄) and formaldehyde (HCHO) emissions were also examined. These emissions were constantly low. In the case of methane they were barely detectable. In diesel engines both these exhaust gas components can form during an incomplete combustion. Similarly to the CO emissions the use of the swirl chamber results in such low emissions, that any effect from the oxygenated fuels is not noticeable.

For all investigated fuel mixtures the engine meets the relevant limit values of 650 mg/m³ CO, and 2500 mg/m³ NO_x @ 5 vol% residual oxygen content in the exhaust gas according to the guideline for plant oil operated CHP units by the Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection [10].

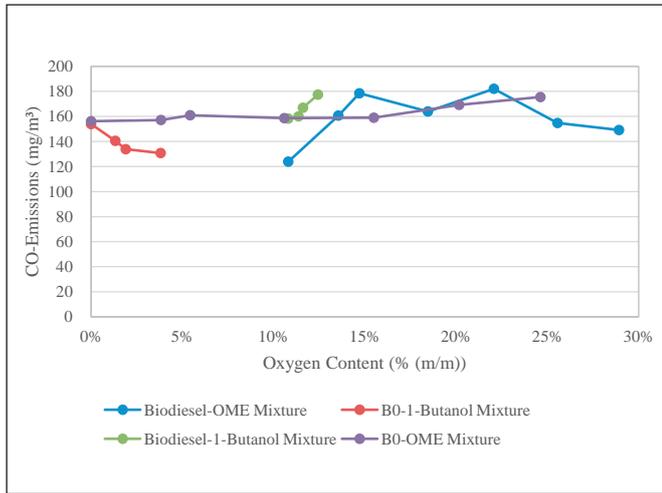


Figure 5: CO-emissions for the investigated mixtures

5 Conclusion

In this report the effects of different oxygenated fuels on the diesel engine operated CHP unit were studied. The experimental results indicate that:

- 1) The heating efficiency, electric efficiency and the total efficiency of the diesel engine operated CHP unit was not affected by the increase in oxygen content for the four types of fuel mixtures.
- 2) A decrease in NO_x emissions could be observed when increasing the oxygen content for all fuel mixtures.
- 3) The results for the CO emissions were inconclusive due to the operation of the engine with a swirl chamber.
- 4) The CH_4 and HCHO emission were barely detectable due to the operation of the engine with a swirl chamber.

The experiments showed that admixing oxygenated fuels to standard fuels could be a measure for reducing the NO_x emissions of diesel engines without a SCR catalyst. In order to verify the results of the experiments, especially the reduction of NO_x emissions, further experiments should be carried out on a diesel engine with a common-rail injection system. Furthermore, the effect of these fuels on the particle emissions of the engine should be included for further testing as well as a combustion analysis.

Referenzen:

- [1] E. G. Giakoumis, C. D. Rakopoulos, A. M. Dimaratos, and D. C. Rakopoulos, "Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 17, pp. 170–190, 2013.
- [2] T. Popp et al., "Potentials of OME/diesel blends for stationary power production – Improving emission characteristics of a diesel CHP unit," *Applied Thermal Engineering*, vol. 153, pp. 483–492, 2019.
- [3] N. O'Connell, A. Röhl, R. Lechner, T. Luo, and M. Brautsch, "PODE-blend as pilot fuel in a biomethane dual fuel engine: Experimental analysis of performance, combustion and emissions characteristics", *Renewable Energy*, vol. 143, pp. 101–111, 2019.
- [4] C. J. Baranowski, A. M. Bahmanpour, and O. Kröcher, "Catalytic synthesis of polyoxymethylene dimethyl ethers (OME): A review", *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 217, pp. 407–420, 2017.
- [5] O. Doğan, "The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions", *Fuel*, vol. 90, no. 7, pp. 2467–2472, 2011.
- [6] D. C. Rakopoulos et al., "Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends", *Fuel*, vol. 89, no. 10, pp. 2781–2790, 2010.
- [7] G. Goga, B. S. Chauhan, S. K. Mahla, and H. M. Cho, "Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with rice bran biodiesel and n-butanol", *Energy Reports*, vol. 5, pp. 78–83, 2019.
- [8] H. Kuszewski, "Experimental study of the autoignition properties of n-butanol–diesel fuel blends at various ambient gas temperatures", *Fuel*, vol. 235, pp. 1316–1326, 2019.
- [9] X. Han, Z. Yang, M. Wang, J. Tjong, and M. Zheng, "Clean combustion of n-butanol as a next generation biofuel for diesel engines", *Applied Energy*, vol. 198, pp. 347–359, 2017.
- [10] Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) (Hrg.), „Pflanzenbetriebene Blockheizkraftwerke – Leitfaden“, 2002.

Projektpartner:

Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu Province, China

Institut für Energietechnik an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

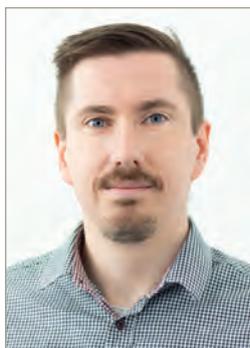
Kontakt:



Jin Tianyu

School of Automotive and
Traffic Engineering
Jiangsu University
Xuefu Road 301
212013 Zhenjiang, Jiangsu Province
China

2221704023@stmail.ujs.edu.cn



Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O'Connell

Institut für Energietechnik (IfE)
an der Ostbayerischen Technischen
Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

n.oconnell@oth-aw.de



Andreas Röhl, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.roell@oth-aw.de



Raphael Lechner, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

r.lechner@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

m.brautsch@oth-aw.de



Prof. Luo Fuqiang

School of Automotive and
Traffic Engineering
Jiangsu University
Xuefu Road 301
212013 Zhenjiang, Jiangsu Province
China

luofq@ujs.edu.cn

Zusammenfassung

In Anbetracht des Auslaufens der 20-jährigen EEG-Ver-gütung für Biogasanlagen in den nächsten Jahren sollen im Projekt „Optibiosy“ die Potenziale für die Bereitstel-lung von Systemdienstleistungen durch diese Anlagen untersucht werden. Im zukünftigen Stromsystem muss der Bedarf an Systemdienstleistungen zur Sicherstellung eines stabilen Netzbetriebs von alternativen Erzeugern gedeckt werden. Biogasanlagen könnten hier mit einem relativ geringen technischen Aufwand einen hohen Bei-trag leisten, vor allem weil sie durch den Gasspeicher bedarfsgerecht betrieben werden können. Um die dafür nötigen technischen Änderungen abschätzen zu können werden der deutsche Anlagenbestand im Überblick und 14 Anlagen in Bayern im Detail betrachtet. Außerdem werden von der Forschungsstelle für Energienetze die zukünf-tigen Bedarfe an Systemdienstleistungen aus Netz-sicht, sowie Vermarktungsmöglichkeiten für die Bereitstellung analysiert. Aus einem Optimierungsmodell sollen dann Handlungsempfehlungen für Betreiber und Gesetzgeber ausgeleitet werden, damit die nötigen technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen gesetzt werden können.

Abstract

Considering the expiry of the EEG funding for biogas plants in the next years, the project “Optibiosy” examines the potentials of these plants for the supply of system services. The future electric power system needs alter-native electricity producers to meet the requirements of system services. Biogas plants could make a great contribution without extensive technical modifications, especially because their gas storage enables an opera-tion based on the demands in the power grid. In order to estimate which technical modifications are needed, the stock of biogas plants in Germany in general and 14 plants in Bavaria in detail are analysed. Apart from that the Research Center on Energy Transmission and Energy Storage examines the future demands for system services and also possible marketing systems for the supply. In the end an optimization model is supposed to give recommendations for action for plant operators and also the legislator in order to set the suitable technical and legal framework conditions.

1 Einführung und Projektziel

Bislang profitieren Biogasanlagen stark von den Förde-rungen aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz. Um auch nach dem Auslaufen der 20-jährigen Förderphase einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen zu ermöglichen, müssen neue Konzepte für Vermarktungsstrategien im Kontext des zukünftigen Energiesystems entwickelt werden. Insbesondere für einen stabilen Betrieb der Stromnetze der Zukunft, welche weitgehend ohne Grundlasterzeuger (Ausstieg aus der Kern- und Kohle-energie) auskommen müssen, können Biogasanlagen einen wichtigen Beitrag leisten. Verschiedene System-

dienstleistungen, welche bislang aus konventionellen Großkraftwerken erbracht wurden, müssen fortan durch alternative Technologien bereitgestellt werden. Im For-schungsprojekt OPTIBIOSY wird deshalb die Erbringung von Momentanreserve (Schwungmasse), Blindleistung, die Unterstützung beim Engpassmanagement der Netz-betreiber und ein Beitrag zum zukünftigen Netzwieder-aufbaukonzept durch Biogasanlagen untersucht. Das dreijährige Forschungsprojekt wird vom Bundesministe-rium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ gefördert, Projektträger ist die Fachagentur Nachwachsende Roh-stoffe e.V. An dem Verbundprojekt arbeiten Projektteams

der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Regensburg und Amberg-Weiden sowie des Instituts für Energietechnik (IfE) an der OTH Amberg-Weiden in Amberg zusammen.

2 Bestandsanalyse

Zu Beginn der Arbeiten am Projekt wurde eine Verortung aller gemeldeten Biogasanlagen in Deutschland über ein Geoinformationssystem durchgeführt. Außerdem wurden die verwendeten Daten nach Leistungsklassen und Inbetriebnahmejahren geclustert, um sich einen Überblick über den Bestand schaffen zu können.

Wie die regionale Verteilung der Anlagen in Abbildung 1 (oben) zeigt, befinden sich vor allem in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Baden-Württemberg und Bayern die Hot-Spots des Bestands. Im Norden dominieren Anlagen im großen Leistungsbereich, im Süden kleinere landwirtschaftliche Anlagen.

Die sogenannte „Sterbekurve“ (Abbildung 1 (unten)) wurde aus den Daten der Inbetriebnahmejahre der Anlagen erzeugt und stellt dar, wie sich der Anlagenpark entwickeln würde, sollten nach Ende der 20-jährigen EEG-Vergütung keine neuen Vermarktungsmöglichkeiten vorliegen und die Anlagen vom Netz gehen. Wie zu erkennen ist, würde bereits ab 2026 die Anlagenanzahl deutlich einbrechen.

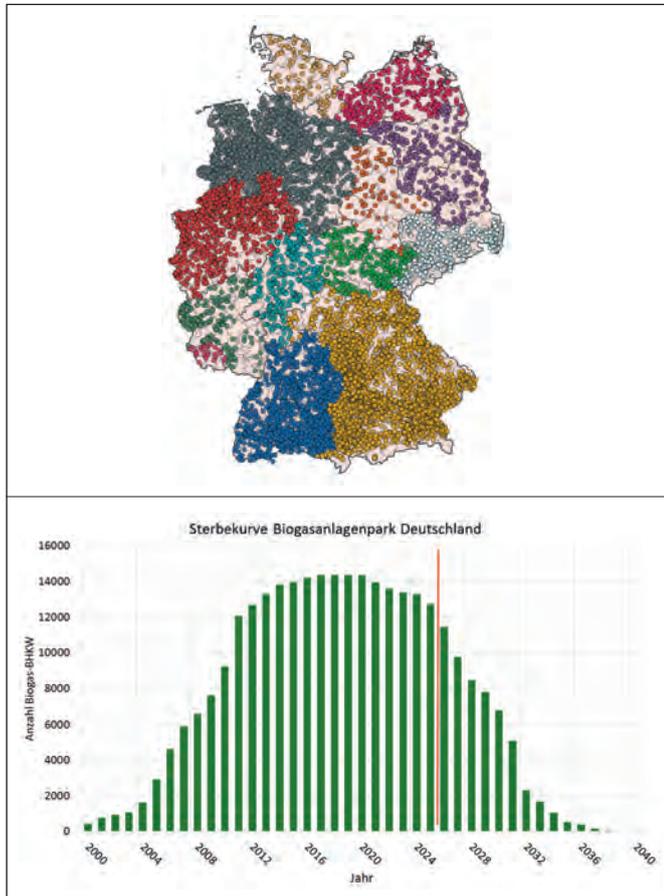


Abbildung 1: Regionale Verteilung des Anlagenbestands in Deutschland nach Bundesländern (oben) und „Sterbekurve“ des Anlagenparks (unten)

3 Stand der Technik

Parallel wurde eine umfassende Literaturrecherche über den Stand der Technik im Biogasbereich durchgeführt. Im Jahr 2017 waren ca. 8.600 Biogasanlagen mit einer gesamten Erzeugungsleistung von ca. 4,5 GW_{el} am Netz [1, S. 14]. Nach dem rasanten Zubau ab dem Jahr 2004 mit dem Höhepunkt 2011 wurden durch die Einführung der Direktvermarktung im EEG-2012 die Zubauzahlen erheblich gesenkt und der Fokus auf die Marktintegration der Bioenergie gelegt.

Als Substrate werden zum größten Teil nachwachsende Rohstoffe (Mais-GPS, Getreide-GPS, Grassilage) mit einem Anteil von ca. 49 % und landwirtschaftliche Nebenprodukte (Gülle und Mist) mit ca. 44 % verwendet. Die restlichen 7 % werden aus organischen Reststoffen (Bioabfall, Reststoffe aus Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft) bezogen.

Die Substrate werden fast ausschließlich in Anlagen mit Nassfermentation vergärt, also in den bekannten Rührbehältern, welche kontinuierlich beschickt werden. Das erzeugte Biogas wird in sog. „integrierten“ Gasspeichern, also in den Gashauben direkt über Fermenter, Nachgärer und Gärrestlager, gespeichert. In seltenen Fällen werden zusätzlich externe Speicher (Gassäcke oder Hauben mit eigenem Fundament) verwendet. [2]

Das erzeugte Biogas wird zu ca. 98 % für die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme in Blockheizkraftwerken verwendet. Außerdem gibt es einige Anlagen, bei denen das Gas zu sog. Biomethan aufbereitet und anschließend in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist wird. Bei den KWK-Anlagen wird der erzeugte Strom in das Netz eingespeist und die Wärme wird für die nötige Beheizung des Fermenters genutzt, in Wärmenetze eingespeist und/oder für landwirtschaftliche Trocknungsanlagen (Holzhackschnitzel, Scheitholz etc.) verwendet.

Zu Beginn der „Biogasära“ erhielten die Anlagen eine feste, auf 20 Jahre garantierte EEG-Vergütung. Mit dem EEG 2012 wurde die Direktvermarktung eingeführt, um die Anlagen in den Strommarkt zu integrieren. Zudem wurde durch die Einführung der „Flexibilitätsprämie“ (2012) und des „Flexibilitätszuschlags“ (2014) ein flexibler Anlagenbetrieb angereizt, indem der Zubau von zusätzlicher Speicherkapazität und Verstromungsleistung finanziell unterstützt wird. Somit können Anlagen bei Stromüberschüssen das Gas zwischenspeichern und bei Strombedarf schnell ins Netz einspeisen. Nach langsamem Beginn wurde die Flex-Förderung gut angenommen, sodass der Förderdeckel schätzungsweise im September 2020 erreicht wird. [3] Seit 2017 können Neuanlagen nur noch über ein Ausschreibungsverfahren eine Vergütung erhalten (auch Altanlagen können teilnehmen, um weitere 10 Jahre eine Vergütung zu erhalten). Jedoch können nur wenige (meist sehr große) Anlagen mit den

Ausschreibungspreisen einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb darstellen, ein Großteil der Betreiber sieht in der momentanen Situation keine Alternative zur Schließung der Anlage. Über die Vermarktung von Systemdienstleistungen könnte in Zukunft für viele Anlagen ein Zusatzverdienst und damit Anreiz für einen Weiterbetrieb geschaffen werden.

4 Verfahren- und Anlagenauslegung für systemdienlichen Betrieb

Für die Analyse des Potenzials von Biogasanlagen zur Erbringung der in der Einleitung genannten Systemdienstleistungen im zukünftigen Stromsystem übernimmt das Projektteam auf Amberger Seite die Betrachtung der Verfahrens- und Anlagenauslegung für den systemdienlichen Betrieb.

4.1 Analyse beteiligter Beispielanlagen

Hierfür werden in einem ersten Schritt Biogasanlagen, deren Betreiber sich am Projekt Optibiosy beteiligen, analysiert. Von 8 Anlagen aus dem Regionalen Planungsverband 13 (Raum Landshut) wurden schon in einem Vorprojekt des IFE Daten aufgenommen, die lediglich noch einmal aktualisiert werden. Die Daten der restlichen 5 Anlagen (4x Landkreis Cham, Schwandorf) werden in Form einer Begehung und einer zugehörigen Datenerhebung aufgenommen. Hierbei werden unter anderem Gärbehälter- und Gasspeichervolumina, Leistungen und Laufleistungen der BHKW sowie Angaben zur Wärmenutzung und Stromvermarktung aufgenommen und anschließend analysiert.

4.2 Ermittlung von Auslegungsparametern für die Erbringung von Systemdienstleistungen

Aus den gewonnenen Erkenntnissen aus den Anlagenanalysen, einer Literaturrecherche sowie der Teilnahme an Fachworkshops und -kongressen werden im Anschluss Parameter für einen systemdienlichen Anlagenbetrieb definiert (vgl. Abbildung 2).

Als zentrale Faktoren gehen Gasspeicher und BHKW in das Modell ein. Wie schon erwähnt, werden bei einer Anlagenflexibilisierung diese beiden Anlagenteile vergrößert bzw. deren Leistung erhöht. Je nach Speichervolumen und Gaserzeugung im Fermenter kann eine gewisse Speicherdauer ohne Gasabnahme durch den Speicher realisiert und somit Zeiten ohne Strombedarf im Netz überbrückt werden. Bei den BHKW ist die installierte Leistung das zentrale Kriterium. Sie bestimmt, wie schnell vorhandenes Gas bei Strombedarf, also hohen Börsenstrompreisen verstromt werden kann. Als weiterer wichtiger Faktor für einen flexiblen Anlagenbetrieb ist die Wärmenutzung zu nennen. Je nachdem, ob ein Wärmenetz oder eine Trocknung an die Anlage angeschlossen sind, muss der Wärmebedarf beim Flexbetrieb beachtet werden. Auch die Fermenterbeheizung muss sichergestellt werden können.

Außerdem werden neuartige Technologien wie Power-to-Gas (PtG) und Power-to-Heat (PtH) sowie Batteriespeicher in dem Modell berücksichtigt, da diese in Zukunft an Biogasanlagen eingesetzt werden können, um die Flexibilisierung der Anlage weiter zu verbessern.

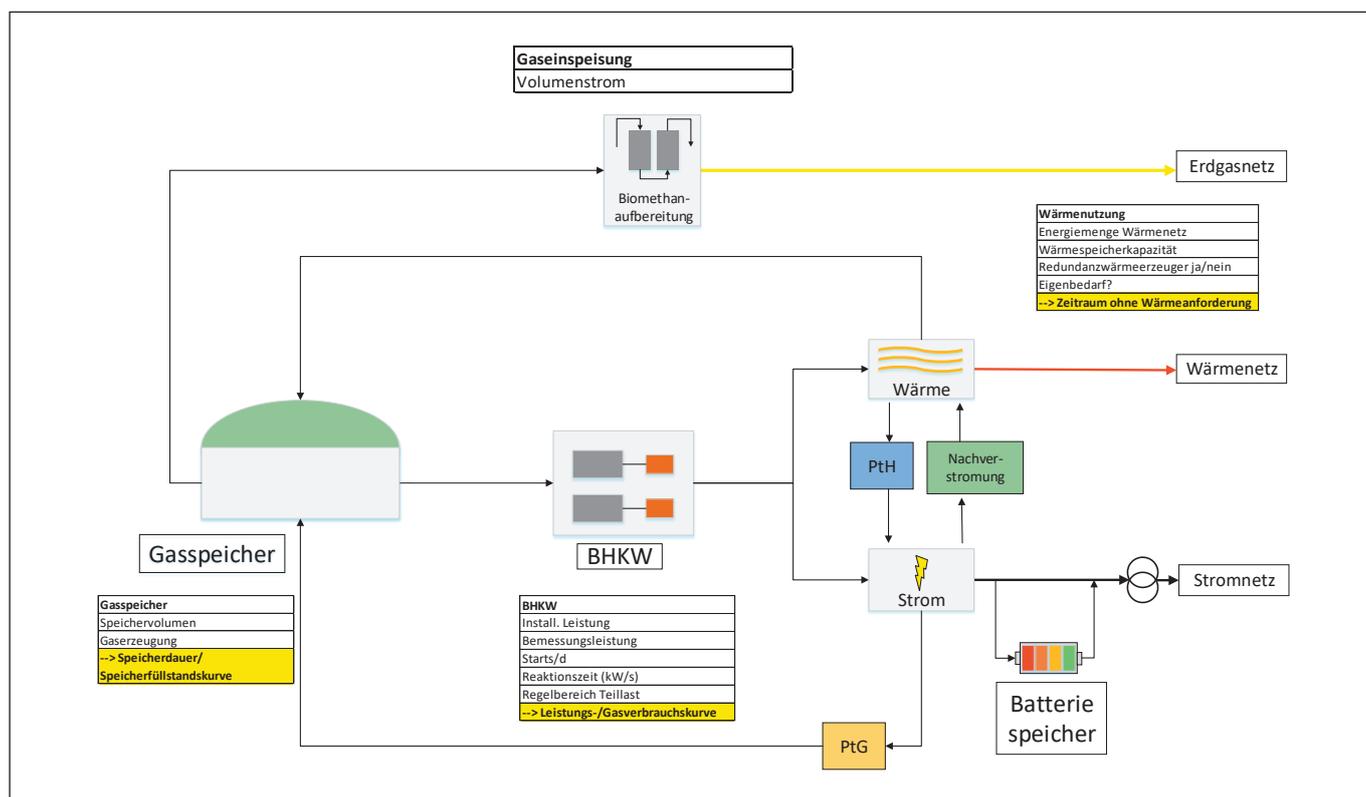


Abbildung 2: Anlagenmodell mit relevanten Parametern für einen systemdienlichen Betrieb

5 Netz- und Marktanforderungen

5.1 Netzanforderungen

Um den Beitrag von Biogasanlagen zum Engpassmanagement und die Möglichkeiten zur Bereitstellung von Blindleistung zu untersuchen, werden von der OTH Regensburg Lastflusssimulationen in Hoch- und Mittelspannungsnetzmodellen durchgeführt. Die vorhandenen Modelle wurden von der Lechwerke Verteilnetz GmbH (LVN), einem assoziierten Partner des Forschungsprojektes, beigesteuert und bilden reale Netze ab.

Die MS-Netzmodelle wurden anhand verschiedener Kriterien ausgewählt. Dazu zählen z.B. die Charakteristik des Netzes (ländlich, städtisch, industriegeprägt), Möglichkeiten zum Anschluss weiterer Biogasanlagen sowie die Möglichkeiten zur einfachen Veränderung der Netztopologie (Strahlennetze → Ringnetze → Maschennetze). Diese Netze werden zunächst aufbereitet, um damit Lastflusssimulationen über den Zeitraum eines Jahres im Viertelstundenraster durchführen zu können. Dazu sind entsprechende Zeitreihen für sämtliche Erzeuger und Verbraucher erforderlich. Diese werden zum Teil synthetisch, z. B. über abgewandelte Standardlastprofile oder durch geografische Interpolationsverfahren generiert. Die Modellierungsansätze stammen teilweise aus einem Vorgängerprojekt [4] und wurden bereits evaluiert.

Mit den aufbereiteten Netzmodellen werden anschließend verschiedene Szenarien simuliert, die sich in verschiedenen Parametern, z. B. dem Netzanschlusspunkt einer nachgebildeten Biogasanlage, unterscheiden. Auch die Netztopologie wird variiert, um später allgemeingültige Aussagen ableiten zu können. Die Netzdienlichkeit von Biogasanlagen wird anhand eines Anlagenmodells geprüft. Dieses ermöglicht die Nachbildung verschiedener Regelungen. Außerdem können damit Restriktionen aufgrund bestehender Verpflichtungen für die Wärme- bzw. Gaslieferung in die Netzsimulationen eingebracht werden. Ziel der Berechnungen ist es, die Einflussmöglichkeiten der Biogasanlage auf unterschiedliche Netz-situationen sowie die dafür notwendige Fahrweise zu ermitteln.

Mithilfe des HS-Netzmodells und übergeordneter ausgewählter HÖS-Netzgebiete werden die auftretenden überregionalen Blindleistungsbedarfe ermittelt, um die Kompensationswirkung der Biogasanlagen im MS-Netz zu analysieren. Zudem wird analysiert, ob Biogasanlagen Engpässe im HS-Netz erfolgreich beheben können.

5.2 Marktanforderungen

Damit der netz- bzw. systemdienliche Einsatz von Biogasanlagen auch monetär bewertet werden kann, werden verschiedene potenzielle Erlösquellen untersucht. Ein Teil konzentriert sich dabei auf die etablierten Vermarktungsweisen über die Strombörse und den Regelleistungsmarkt. Hierbei wird die Entwicklung der Strombörsenpreise sowie der Arbeits- und Leistungspreise analysiert.

Das Hauptaugenmerk liegt jedoch bei der monetären Bewertung der vier eingangs genannten Systemdienstleistungen. Hierzu werden insbesondere Kostenvergleiche angestellt. Dabei soll ermittelt werden, welche Kosten einer Biogasanlage in konkreten Situationen durch die SDL-Bereitstellung entstehen und was der Einsatz alternativer Techniken (z.B. Installation eines Speichers, Netzausbau, Aufbau von Kompensationsanlagen) kosten würde. Um die Mehrkosten einer flexiblen Fahrweise des BHKWs bestimmen zu können, wird von der Fakultät Maschinenbau der OTH Regensburg ein Motorkostenmodell entwickelt.

6 Aufbau Optimierungsmodell

Nachdem sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Bewertungen abgeschlossen sind, sollen diese in einem Optimierungsmodell miteinander verknüpft werden. Dieses Optimierungsmodell soll Ergebnisse liefern, wie bestehende Anlagen betrieben werden können, um einen maximalen Ertrag mit zukünftigen Vermarktungsoptionen zu erwirtschaften. Da hier sehr viele verschiedene Parameter einwirken, werden zunächst mittels einer heuristischen Optimierung besonders wichtige und vielversprechende Anwendungsfälle vorsortiert. Eine mathematische Optimierung soll dann im Nachgang auf diese Fälle begrenzt durchgeführt werden.

7 Ausblick

Nach der Fertigstellung des mathematischen Modells, das am Ende dann die analysierten technischen Rahmenparameter aus Anlagensicht sowie aus Netz-sicht und die monetäre Bewertung der Bereitstellung von Systemdienstleistungen beinhaltet, sollen aus den gewonnenen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen gegeben werden können. Zum einen für Betreiber, die an das Ende ihrer EEG-Vergütung gelangen und neue Einkommensquellen benötigen, zum anderen für den Gesetzgeber, der die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb der Anlagen setzen muss.

Referenzen:

- [1] Uwe Hoffstede, Manuel Stelzer, Dr. Henning Hahn, Michael Beil, Dr.-Ing. Bernd Krautkremer, Julia Kasten, Wiebke Beyrich, Prof. Dr.-Ing. Uwe Holzhammer (Unterauftrag), 22.03.2018, Kassel, Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien, Zwischenbericht, 149 s., Fraunhofer IEE
- [2] Jaqueline Daniel-Gromke, Nadja Rensberg, Velina Denysenko (DBFZ), Marcus Trommler, Toni Reinholz, Klaus Völler (dena), Michael Beil, Wiebke Beyrich (IWES), 15.12.2017, Leipzig, Anlagenbestand Biogas und Biomethan – Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. DBFZ Report Nr. 30, DBFZ
- [3] Flexperten (Hg.), Das BMWi „Energie-Sammelgesetz“ wurde verabschiedet. Reform des Flexdeckels. Online verfügbar unter https://www.kwk-flexperten.net/aid=6?newsdetail=20181206-6_das-bmwi-energie-sammelgesetz-wurde-verabschiedet, zuletzt geprüft am 04.07.2019.
- [4] Matthias Haslbeck, Reinhard Kreuzer, Johannes Rauch, Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl, Andreas Günther, Rainer Bäsman, Hansjörg Rietsche, Achim Tempelmeier, 14.11.2018, Regensburg, SyNErgie Systemoptimierendes Netz- und Energiemanagement für die Verteilungsnetze der Zukunft, Schlussbericht, 146 s, OTH Regensburg

Projektpartner:

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg

Institut für Energietechnik (IfE) an der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden

Fördergeber:



Kontakt:



Max Becker, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ma.becker@oth-aw.de



Raphael Lechner, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

r.lechner@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

m.brautsch@oth-aw.de



Johannes Schächinger, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Regensburg
Fakultät Elektro- und Informationstechnik
Forschungsstelle für Energienetze
und Energiespeicher
Prüfeninger Straße 58
93049 Regensburg

johannes.schaechinger@oth-regensburg.de

Kurzfassung

Die Selbstentladung von aktivkohlebasierten Superkondensatoren über 14 Monate hinweg folgt einer Exponentialfunktion in zwei Zeitdomänen. Den momentanen Ladezustand (SoC) zeigt die durch Impedanzspektroskopie zugängliche frequenzabhängige Kapazität $C(\omega)$ zuverlässig an. Dieses Ergebnis ist nützlich für die Betriebsüberwachung von elektrochemischen Speichern in stationären und mobilen Anwendungen.

Abstract

The self-discharge of supercapacitors based on activated carbon, which were studied for a period of 14 months, obeys an exponential function in two time domains. Reliably, the actual state-of-charge (SoC) is displayed by the frequency-dependent capacitance $C(\omega)$, which is obtained by impedance spectroscopy. This result is useful for the state-of-health monitoring of electrochemical storage devices in stationary and mobile applications.

1 Einleitung

Superkondensatoren als Kurzzeitspeicher haben Einzug gehalten in moderne elektronische Systeme von LED-Taschenlampen, Computerspeichern und Aktuatoren bis zu Brandschutzantrieben. Üblicherweise wird die momentane Leerlaufspannung U ins Verhältnis zur Nennspannung U_0 des vollgeladen Bauteils gesetzt. Doch der tatsächliche Ladezustand (SoC) und die die echte Restladung Q , die für Anwendungen zur Verfügung steht, bleiben selbst bei der Buchhaltung der eingespeisten und entnommenen Amperestunden vage [1].

$$\text{SoC}(t) = \frac{Q(t)}{Q_0} = \frac{\int I(t)dt}{C U_0} \approx \frac{U(t)}{U_0}$$

Für Batterien und Kondensatoren gilt der Zusammenhang gleichermaßen. Doch je nach Zellchemie korrelieren Ladung und Spannung unterschiedlich. Spannungs- und ladungsbezogene Ladezustände sind kaum vergleichbar. Externe Lade- und Entladeströme, Temperaturänderungen, Alterung, Spannungsdrift und Hysterese stören die SoC-Bestimmung.

Daher haben wir Superkondensatoren als Referenzsystem gewählt, deren Ladezustand im Verlauf der fortschreitenden Selbstentladung losgelöst von externen Einflüssen beobachten werden kann. So konnten wir die frequenzabhängige Kapazität als einfache Messmethode für die tatsächliche Restladung erproben.

2 Mechanismus der Selbstentladung

Ursächlich für die Entladung von Superkondensatoren sind Prozesse in unterschiedlichen Zeitdomänen [2–5].

Die schnellen Redoxreaktionen an der Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt prägen die exponentielle Lade- und Entladekurve eines Superkondensators im äußeren Leiterkreis, speziell bei Überladung und Elektrolytzersetzung. Zögerliche Diffusionsvorgänge in den porösen Elektroden folgen über Stunden hinweg, besonders in Anwesenheit unerwünschter Wasserspuren. Die eigentliche Selbstentladung im elektrischen Feld zwischen den mikroporösen Elektroden schließt sich im Verlauf von Tagen, Wochen und Monaten an.

Der Mechanismus der Selbstentladung ist spekulativ, könnte aber mit der Umverteilung adsorbierter Ionen von der Oberfläche ins poröse Elektrodeninnere zusammenhängen. Polare funktionelle Gruppen (C–O, C=O, COOH) auf der Kohlenstoffelektrode binden Ionen aus dem Elektrolyt – und die ionische Leitfähigkeit der Fest-Flüssig-Grenzfläche sinkt. Mit zunehmend dicker Blockade-Schicht wächst der Leckagewiderstand und der gemessene Leckstrom nimmt ab [6]. Die Spannungs-Zeit-Kurve eines Superkondensators aus unterschiedlichen Ladezuständen ist jedoch keineswegs eine einfache Exponentialfunktion. Es existiert kein eindeutiges Ersatzschaltbild, das das Betriebsverhalten vollständig abbildet.

Weil der langfristige Trend der Selbstentladung nach Monaten und Jahren weitgehend unbekannt ist, haben wir ein Langzeitexperiment für Superkondensatoren unterschiedlicher Bauart bei verschiedenen Temperaturen entworfen.

3 Auswertung der Selbstentladekurve

Kommerzielle Superkondensatoren wurden unter Nennspannung aufgeladen, anschließend mit offenen Klemmen bei Raumtemperatur und bei 80 °C gelagert [1]. Tägliche Impedanzmessungen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 0,1 Hz mit 50 mV Spannungsamplitude (zusätzlich zur aktuellen Leerlaufspannung des Kondensators) entluden den Kondensator unmerklich. Die Ortskurve der Impedanz (Abbildung 1) wird mit zunehmender Selbstentladung enger. Der nahezu konstante Widerstand (ESR) bei 1 kHz ist wenig aussagekräftig. Der Innenwiderstand R ändert sich mit der Selbstentladung nur im Milliohmbereich. Deutlich zeigt der Frequenzgang der Kapazität die spannungsproportionale Selbstentladung an. Ausgewertet wurde die Kapazität $C(\omega)$, die sich für ein $C||R$ -Schaltbild mit unendlich großem Leckwiderstand R ergibt.

$$C(\omega) = \frac{\text{Im } \underline{Y}}{\omega} = \frac{-\text{Im } \underline{Z}}{\omega \left[(\text{Re } \underline{Z})^2 + (\text{Im } \underline{Z})^2 \right]} \xrightarrow{\text{Re } \underline{Z} \rightarrow \infty} \frac{-1}{\omega \text{Im } \underline{Z}}$$

Der spannungsbezogene Ladezustand $U(t)/U_0$ fällt exponentiell mit einer Zeitkonstante von wenigen Tagen. Spätestens nach drei Monaten zeigt sich die zweite Zeitkonstante (Abbildung 1). Die Näherung $e^{-t} \approx 1 + 1/t$ erklärt, dass der reziproke Zusammenhang $U \sim t^{-1}$ für die Asymptote der ersten Stunden gilt. Im Übergangsbereich von 10 bis 100 d ändert sich Spannung und Kapazität logarithmisch: $U \sim -\lg t$.

4 Temperatureinfluss

Bei hoher Temperatur entlädt sich ein Superkondensator pseudoexponentiell deutlich schneller als in der Kälte. Die Anfangsspannung hat einen moderaten Einfluss: Bei vollständiger Ladung bricht die Spannung stärker ein als bei unvollständiger Ladung. Wir haben die Selbstentladung eines (1) kohlebasierten Superkondensators und (2) eines Lithiumionen Superkondensators bei 70 °C verglichen. Die Messung der Spannung erfolgte über den Einplatinen-Computer „Raspberry Pi Zero W“, gekoppelt mit einem 16-bit-Analog-Digital-Wandler, der mit dem Verstärkungsfaktor 1 eine Auflösung von 0,125 mV im Spannungsbereich $\pm 4,096$ V lieferte. Die Kondensatoren wurden zweimal täglich für eine halbe Sekunde über ein Niederspannungs-Relais zur Messung freigeschaltet, um eine schleichende Entladung über den Messkreis zu vermeiden.

Während der ersten beiden Tage sinkt die Spannung der Kondensatoren zeitlich exponentiell ab (Abbildung 2). Es folgt ein quasilinearer Verlauf. Der Aktivkohle-Kondensator (1) entlädt sich langfristig bis auf 0,075 U_0 . Der zweite Knick nach 100 Tagen legt nahe, drei Zeitkonstanten anzunehmen. Der Lithiumionen-Kondensator (2) entlädt sich nahezu linear um 1 V innerhalb von 15 Monaten.

$$U(t) = 1,473e^{-\frac{t}{1,362}} + 1,011e^{-\frac{t}{77,09}} - 0,00073 t + 0,2028 \quad (1)$$

$$U(t) = 0,7112e^{-\frac{t}{1,068}} + 0,2705e^{-\frac{t}{19,58}} - 0,00102 t + 2,774 \quad (2)$$

Die Regression ist exzellent mit 99,77 % (1) bzw. 99,94 % (2).

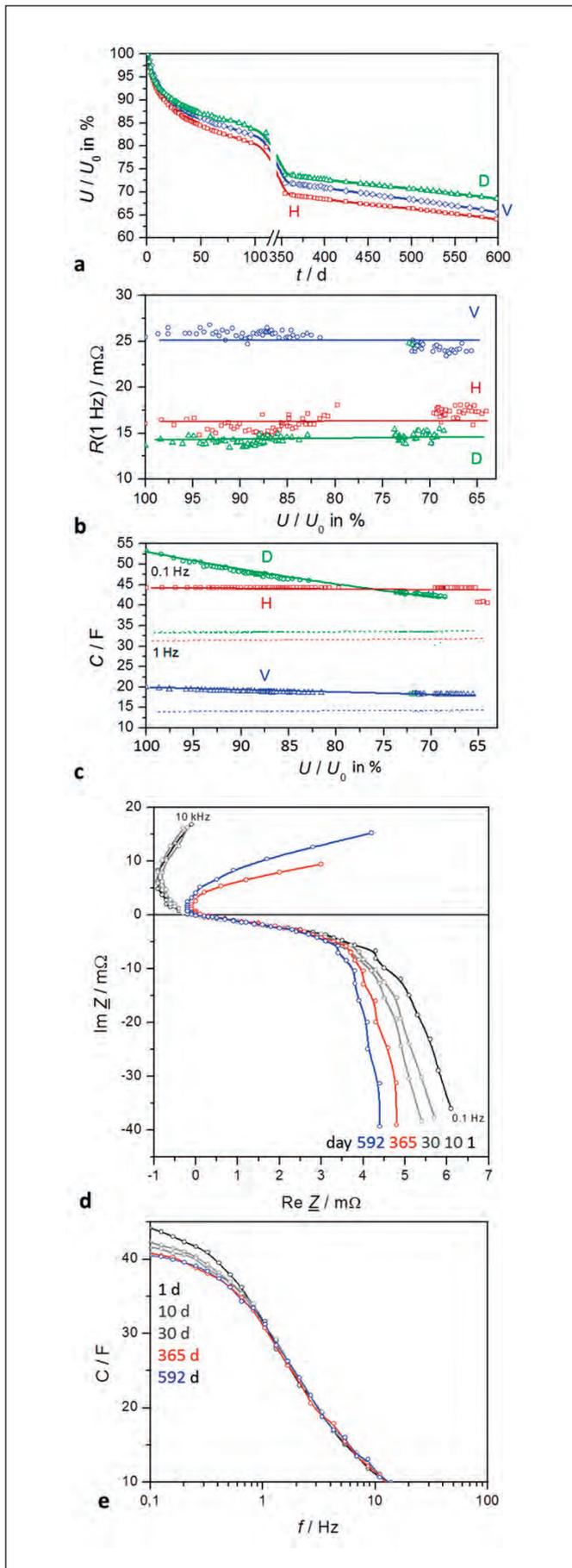


Abbildung 1: Selbstentladung von Superkondensatoren bei Raumtemperatur über 600 Tage: **H** VINA Hy-Cap, 2,7 V, 50 F; **D** = VINA Hy-Cap, 3 V, 50 F; **V** = Vitzrocell 2,7 F, 25 F. (a) Ladezustand über 600 Tage. (b) Kabel- und Innenwiderstand bei 1 Hz. (c) Kapazität bei 0,1 Hz (durchgezogen) und 1 Hz (gestrichelt). (d) Ortskurven der Impedanz. Kabelwiderstand korrigiert. (e) Frequenzgang der Kapazität.

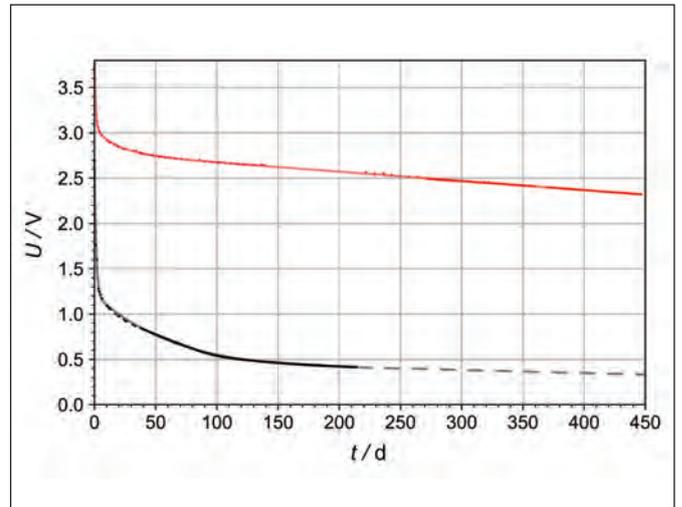


Abbildung 2: Selbstentladung von Superkondensatoren bei 80 °C. Schwarz: VINA HyCap, 2,7 V/50 F. Rot: Taiyo-Yuden Li-Ion, 3,8 V/100 F. Durchgezogen: Fitkurve durch die Messpunkte.

Referenzen:

- [1] P. Kurzweil, M. Shamonin, State-of-Charge Monitoring by Impedance Spectroscopy during Long-Term Self-Discharge of Supercapacitors and Lithium-Ion Batteries, *Batteries* 4 (2018) 35; doi:10.3390/batteries4030035
- [2] B.E. Conway, W.G. Pell, T.-C. Liu, Diagnostic analyses for mechanisms of self-discharge of electrochemical capacitors and batteries, *Journal of Power Sources* 65 (1997) 53–59.
- [3] J. Kowal, E. Avaroglu, F. Chamekh, A. Senfelds, T. Thien, D. Wijaya, D.U. Sauer, Detailed analysis of the self-discharge of supercapacitors,. *Journal of Power Sources* 196 (2011) 573–579.
- [4] P. Kurzweil, B. Frenzel, A. Hildebrand, Voltage-Dependent Capacitance, Aging Effects and Failure Indicators of Double-Layer Capacitors during Life Testing, *ChemElectroChem* 2 (2015) 160–170.
- [5] B.W. Ricketts, C. Ton-That, Self-discharge of carbon-based supercapacitors with organic electrolytes, *Journal of Power Sources* 89 (2000) 64–69.
- [6] T. Tevi, A. Takshi: Modeling and simulation study of the self-discharge in supercapacitors in presence of a blocking layer. *Journal of Power Sources* 273 (2015) 857–862.

Kontakt:



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de



Josef Schottenbauer, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

jo.schottenbauer@oth-aw.de

Martin Fischer, B.Eng.
Johanna Steindl, M.Sc.
Heike Lepke, M.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß



(Project-No. 824262)

EU-Research-Project “1000kmPLUS” – Optimized Routing for Electric Vehicles

Zusammenfassung

Als Folge des Klimawandels und der Feinstaubbelastung in den Städten stehen Elektrofahrzeuge (EV) immer wieder im Mittelpunkt. Angesichts der Dieselfahrverbote sowie der ständig steigenden Kraftstoffpreise spielen Elektrofahrzeuge eine wichtige Rolle für die Zukunft des Personenverkehrs. Dennoch haben Elektrofahrzeuge immer noch mehrere Probleme, wenn es um ihre Akzeptanz in der Gesellschaft geht. Ein wesentlicher Nachteil von EVs gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist neben hohen Einkaufspreisen die deutlich kürzere Reichweite. Zusammen mit der noch schwach entwickelten Ladeinfrastruktur entsteht die Angst, vor dem Erreichen des Zielortes keine Energie mehr zu haben, auch als „Reichweitenangst“ bezeichnet. Um diese Probleme zu bewältigen, ist es unerlässlich, EVs bezahlbarer, zuverlässiger und komfortabler zu machen.

Introduction

As a consequence of climate change and high pollution in cities, electric vehicles (EV) are repeatedly the focus of attention. Considering the restrictions affecting Diesel engines as well as the constantly rising fuel prices, electrically powered vehicles play an important part in the future of individual mobility. Nevertheless, electric vehicles are still facing multiple problems when it comes to their acceptance in society. In addition to high purchase prices, a major disadvantage of EVs compared to combustion engine powered vehicles is the significantly shorter range. Together with the still poorly developed charging infrastructure, the fear of running out of energy before reaching the destination arises, also referred to as “range anxiety”. To cope with these problems, it is indispensable to make EV more affordable, reliable and comfortable.

Project “1000kmPLUS”

The work presented in this report is part of the European Union’s Horizon 2020 research and innovation project “1000kmPLUS”. The project addresses the need for scalable and brand-independent technology platforms for the key EV elements, to ensure the superiority of European automotive key technologies in terms of performance, scalability and costs for the 2nd and 3rd generation of EV. Since the EV market is progressively developing worldwide, the project aims to speed up the development of European technologies to enter early mass production, thus ensuring large market shares and a wide adoption of the products. Ultimately, it is planned to enhance the range of EVs, against the practical background of a 1000 km business trip.

1000kmPLUS is structured into three Supply Chains (SC):

- **SC1:** Scalable and highly efficient powertrain technology platform
- **SC2:** Fast charging capable and weight optimized battery system
- **SC3:** Vehicle integration and energy management, including demonstration

Together with the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden (OTH AW) the project consists of several academic and industrial partners such as Daimler, Infineon, Fraunhofer, Technische Universität Dresden and Brno University of Technology. Figure 1 gives an overview about the project consortium along the extended value chain.

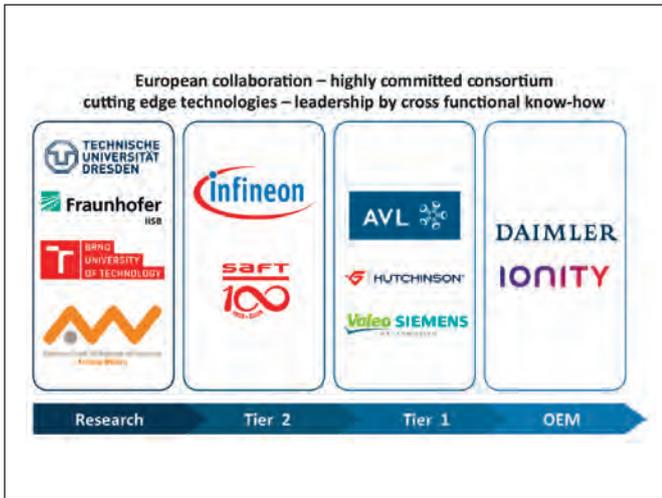


Figure 1: Overview of the project partners

Being part of SC3, OTH AW aims to enhance the usability and performance of EVs. More specific, OTH AW works on implementing an energy optimized routing application into a test vehicle. It is not only planned to enhance the battery's capacity but also to use the available energy and charging infrastructure as efficient as possible. The improvement reached during the project will be presented by performing three challenges:

- Challenge 1 – 1000 km business trip**
 The total travel and charging time must not exceed 12 hours and not more than three charging stops with a total time of 90 minutes maximum can be made.
- Challenge 2 – 2000 km family holiday trip**
 The total travel time is limited to 24 hours. With an expected travelling time of 21 hours the team has three hours for recharging the vehicle
- Challenge 3 – 4500 km project round trip**
 During this challenge, the performance of the new powertrain is demonstrated to all project partners, to the public as well as to the funding authorities. The trip involves 7 countries. Figure 2 shows a possible route connecting all project partners.



Figure 2: Challenge 3: 4500 km travel connecting the location of all partners in the 1000kmPLUS project

Previous Work

The routing planned for the 1000kmPLUS project is based on the previous work of Sebastian Wieland, presented in the project 3Ccar [1]. The algorithm and implementation of the routing will be further developed during the 1000kmPLUS project. To understand the structure of the previous work, the following section will analyze the current status of the EV routing as it was presented in the 3Ccar project.

Optimized Routing for Electric Vehicles

The aim of this routing is to calculate optimal routes for electric vehicles. The focus is less on the economic aspect as on the selection of charging stops. The result is a time-optimized route from start to destination, including the required charging stops. However, it should be noted that the focus on time-optimized routes due to the comparatively long charging times also leads to fairly energy-efficient routes.

What distinguishes the routing for electrically powered vehicles from conventional combustion engines is not only the more frequently required charging stops, but also the non-linear course of the charging curve. Batteries charged with the „Constant Current Constant Voltage“ procedure have a bend in the charge curve at approx. 80% charge state (SOC) [2]. Up to this point, the curve is almost linear, flattening out further and further. On average, the same time is needed for the last 20% SOC as for the first 80%. This means, charging the vehicle's battery between 80% and 100% is very inefficient regarding time-optimized routing.

A two-stage model was created to represent the road network: a pre-calculated base graph for fast retrieval of routes within the range of the vehicle, and a routing graph consisting of the retrieved routes and available charging stations to calculate charging stops. For each charging stop, the optimal amount to charge is calculated. For the sake of safety, an absolute minimum of SOC must always remain during the calculation of the routing. Thus, unforeseen events, such as traffic jams, can potentially be handled without running out of energy.

In most cases the vehicle will arrive with said SOC minimum at each charging station and leave the station with around 80% SOC. The exact values may differ due to the uneven distribution of charging stations. The routing mainly relies on fast charging stations that offer high power for charging. In addition, those stations are usually located close to motorways, so long detours can be avoided. However, in some cases it might be necessary to cover large gaps between two fast charging stations with a slower one.

The implementation of the routing algorithm uses the data of OpenStreetMap (OSM) for the representation of the road network [3]. For retrieval of charging locations the database of Open Charge Map (OCM) is used [4]. Together they provide the basis for both the base- and the routing graph. For calculation of route alternatives from start to destination in the base graph, the software Open Source Routing Machine (OSRM) is used. OSRM uses an implementation of the Contraction Hierarchies algorithm [5]. This algorithm creates a table of shortcuts for the road network in a complex preprocessing step by using speed profiles for the different road types. With the resulting table of shortcuts, long routes (e.g. all across a continent) can be calculated within a few milliseconds. The resulting route alternatives are then enhanced in the routing graph with near-by charging locations. Then, the optimal route with optimal charging times is determined.

Improvement on the Routing

During the course of the project the previously presented routing model will be improved. The currently existing model is able to calculate optimal routes for EVs from a random starting point to a destination. The calculation is based on the vehicle's maximum range and its specific charging curves.

The present model provides static routes and neglects any environmental factors. The developed routing application works by using the vehicle's SOC at the beginning of the trip and its theoretical maximum range to calculate which charging stations can be reached. For range safety reasons, a reserve minimum of SOC is provided in order to be able to react to unforeseen events. This however, only offers a small degree of range safety if the vehicle's energy consumption rises for a longer period. If this is the case and the vehicle is not able to reach the next anticipated charging station, the route must be changed so the car will not run out of energy. The present routing application cannot react to such events since it does not have any means to access the vehicles actual SOC/energy consumption.

Based on these drawbacks, the existing routing application will be improved in the 1000kmPLUS project. The goal is a realistic approach to electric vehicle routing and its integration into an actual vehicle to verify the model. To achieve this goal, it is important to evaluate, which factors are having an influence on the routing and which can be implemented into the application.

Environmental Influences

The term „environmental influences“ refers to factors that occur independently of the vehicle. In particular, the following influences were evaluated:

- **Weather:** The weather influences the routing in several ways. In bad weather, e.g. rain or snow, road conditions deteriorate. Further, different speed limits and traffic congestion can take effect. The average speed on the affected sections, used in the route calculation, must then be adapted to the weather conditions. In addition, the temperature caused by the weather has an influence on the battery's performance when it is in use and even when it is charging. The battery therefore needs to be cooled/heated to the optimal temperature which is around 15-35°C [5].
- **Elevation profile:** The elevation profile of roads influences the energy consumption of a vehicle. For EVs not only steep slopes have to be considered, as they increase the energy consumption, but also drops have to be taken into account as experienced drivers can regain some energy through recuperation. While decelerating the EV's motor acts as a generator and feeds energy back into the battery. By using detailed elevation profiles, the energy required for certain routes can be better estimated. In the case of several similar route alternatives, routing decisions can also be made on the basis of the elevation profile.
- **Traffic:** Traffic density is an important factor to consider during routing. On the one hand the average traffic can be considered on calculation of the routing. Roads with a high traffic volume or a high risk of traffic jams can be avoided to save time and energy. If that is not possible the calculation of the cost for this part of the route can at least be considered during the routing's range calculation. On the other hand, unforeseen traffic events like car accidents can heavily increase the cost of the anticipated route. In such cases it is important to find alternative routes around the affected sections and to update the route in case the vehicle gets stuck in a traffic jam. In such a case the vehicle will usually not be able to reach the aspired charging station and a re-calculation of the route will be necessary.
- **Driver Profile:** One of the major influences on routing and the vehicle's energy consumption is the driving style of the driver. High speeds and accelerations will increase the vehicle's energy consumption significantly. Through efficient use of recuperation, energy can also be saved. However, these factors are strongly driver-dependent and need to be estimated during the specific ride (as drivers may change).

Battery Influences

The battery is the core component of an electric vehicle and therefore plays a central role in routing. For example, the current SOC is determined by communicating with the battery. This data is the basis for making routing decisions while driving. However, each battery also has specific

properties. In addition to the possible charging modes and connector types, this also includes the battery-specific charging and discharging curves. These are required for the calculation of the routes. Furthermore, the battery's age has to be considered: A battery cell's capacity and performance is decreasing with increasing age, caused by irreversible changes in the battery's material. By taking empirical data of battery aging into account, a more realistic estimation of a vehicle's actual range can be made.

Vehicle Influences

One of the biggest influences on routing is the vehicle itself. In order to integrate the routing into an actual vehicle, it must continuously communicate its position to the routing application. If the vehicle leaves the specified route, it must be adapted. In addition, some other aspects of the vehicle have a major impact on fuel consumption. Here, a distinction is made between static and dynamic influencing factors. The following factors were considered in particular:

Static Factors

The term "static factors" refers to vehicle aspects that will not change over the course of the routing. However they might differ between vehicles. They are therefore vehicle-specific. The following factors are used to calculate the battery-to-wheel consumption of an electric vehicle, which is a function of the required mechanical energy at the wheels [6]:

- **Total vehicle mass m :** Mass of the vehicle including passengers and cargo.
- **Vehicle drag coefficient C_x :** The drag coefficient of a vehicle describes how well it passes through the surrounding air.
- **Maximum vehicle cross section A :** The cross section of a vehicle is the total area covered by the vehicle in its driving direction.

Dynamic Factors

The term "dynamic factors" refers to vehicle aspects that may change during the routing process.

- **Vehicle speed:** The vehicle's speed impacts its consumption to a large extent. The velocity is entered as a square value in the calculation of the energy loss due to the aerodynamic drag F_w :

$$F_w = \frac{1}{2} * C_D * A * \rho * (v + v_w)^2$$

With the drag coefficient C_D , that characterizes the shape of the vehicle, the vehicle's affecting front area A , air density ρ and the wind speed on the vehicle's

moving direction v_w [7]. When it comes to enhancing the range of an electric vehicle, a moderate driving speed will affect the driving range the most.

- **Auxiliary Consumption:** The consumption of all auxiliary systems that are not primarily involved in making the vehicle drive is grouped under the term 'auxiliary consumption'. This includes the obligatory systems as lights, horn, window cleaning system and comfort systems such as climate control system, electric window openers, infotainment system etc. Depending on the environmental conditions the auxiliary consumption – essentially heating the passenger compartment – can significantly reduce the vehicle's range.

In general, it is important to keep track of the actual energy consumption of the vehicle since it is still highly driver-dependent. The static factors are simply the base to create a more real-world-like model of the vehicle's energy consumption. The development of such a model including simulation will be part of the upcoming 1000kmPLUS project phase.

Vehicle Integration

In parallel to the development of an improved routing model, the integration of the routing application into a test vehicle will take place. A major part of the integration is the specification of the interfaces between OTH AW, the project partners and external providers.

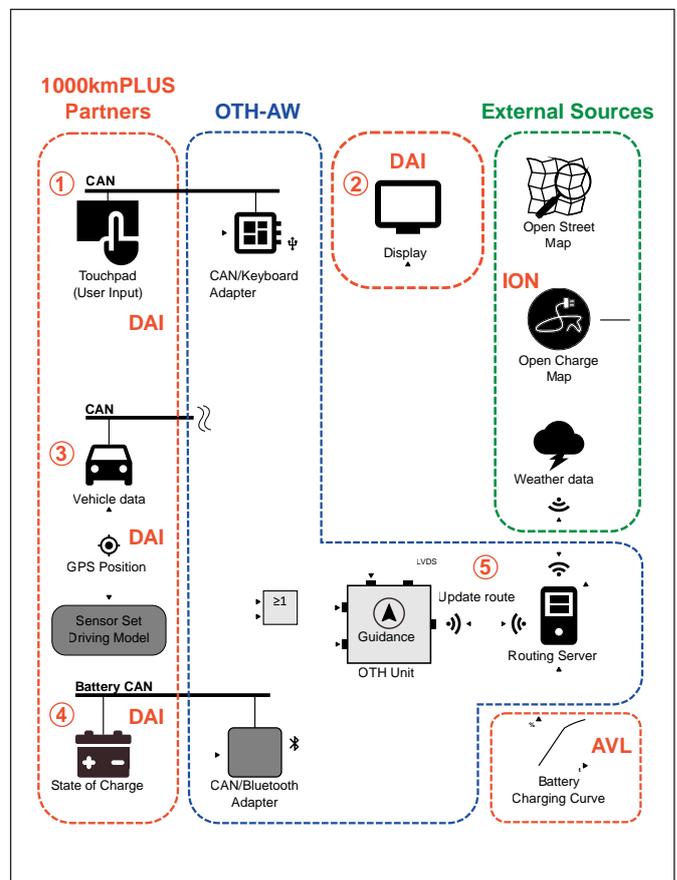


Figure 3: Overview about the contributions of the consortium partners

Figure 3 gives an overview of said interfaces and the contributions of the consortium partners.

Information and access to the vehicle interfaces are provided by Daimler (DAI) [8] since they are supplying the test vehicle. The routing application will be implemented as a navigation system and therefore requires access to the user input as well as to a suitable unit to provide guidance information to the user.

Interface 1: CAN (Touchpad) – CAN-Keyboard/ Mouse Adapter

In order to control the navigation system, access to a built-in touchpad is made available. It transmits the user input via Controller Area Network (CAN) bus [8]. The CAN messages will then be translated into keyboard strokes/ mouse movement to control the navigation system, which is at this point of time a website.

Interface 2: Display – OTH AW Unit

To provide guidance information about the routing to the user, the vehicle's built-in display is used. The connection between the routing unit and the display will be established via High-Speed-Video-Link (HSVL) [9]. Further details to the connector type etc. will be provided by Daimler.

Interface 3: Vehicle – OTH AW Unit

This interface describes the connection between the vehicle's data bus and the routing unit. In order to access the vehicle's data, such as speed or current consumption, a connection to its CAN bus must be established. Based on this data, it is checked whether the current route needs to be adjusted.

Interface 4: Battery CAN – CAN / Bluetooth Adapter

In order to receive status data of the vehicle's battery, a connection to its CAN bus has to be established. This CAN bus is not shared with the bus containing the vehicle data. Since a direct connection from the battery to the OTH AW unit is not possible, the data will be sent via Bluetooth by the CAN/Bluetooth adapter.

Interface 5: OTH AW Unit – OTH AW Routing Server

The OTH AW unit constantly gathers real-world data from the vehicle and the battery. The current route will be updated regularly by the OTH AW server. The connection between server and application will be established via cellular network utilizing an LTE (Long Term Evolution) [11] connection. The proposed route is to be corrected regularly, especially with regard to traffic messages, in order to be able to reroute if necessary. Since the routing application has no safety-critical functionalities, no problems arise if the connection is temporarily bad or even terminated.

Battery Charging Curves

During the project's runtime the development of a new battery is planned. For the testing phase of the routing, however, the test vehicle's original battery will be used. The charging curves of the battery will be determined by project partner AVL [11] through tests. To calculate the charging times, the charging curve for every available charging mode has to be stored on the OTH AW routing server. Every charging curve consists of a lookup table with 101 values – needed time for charging in seconds, resulting in 100 independent loading steps (0-1%, 0-2% ... 0-100%).

External Information

As mentioned earlier, the existing application uses OSM as provider of the map data. For calculation of routes OSRM is used. To find charging location the database of OCM is used. Further providers for data such as weather and elevation profiles still have to be determined.

Conclusion

During the first phase of the project the requirements for improving the routing and for its vehicle integration have been elaborated. Interfaces to other systems and project partners have been defined. It will, however, be necessary to obtain more specific and detailed data about each interface from the project partners. Also suitable sources for external data such as weather, traffic or elevation profiles have to be found. Part of the next project phase will be the development of a simulation environment in order to test and verify the effects of the different influential factors presented in this work.

Referenzen:

- [1] "3Ccar", [Online]. Available: <https://3ccar.eu/>. [Zugriff am 2019 July 27].
- [2] G. Z. S. G. C.-Y. W. Xiao-Guang Yang, "Fast charging of lithium-ion batteries at all temperatures", Proceedings of the National Academy of Sciences, pp. 7266–7271, 01 June 2018.
- [3] „OpenStreetMap Deutschland“, [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.de>. [Zugriff am 2019 August 08].
- [4] "Open Charge Map - About Open Charge Map", [Online]. Available: <https://openchargemap.org/site/about>. [Zugriff am 2019 August 08].
- [5] S. Funke, "Contraction Hierarchies briefly explained", p. 5, 12 January 2017.
- [6] M. J. P. T. C. S. J. W. J. W. T. D. Shuai Ma, "Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review", Progress in Natural Science: Materials International, 2018.
- [7] J. V. M. T. C. Cedric De Cauwer, "Energy Consumption Prediction for Electric Vehicles Based on Real-World Data", Energies, Bd. 8, Nr. 8, pp. 8573–8593, 2015.
- [8] E. Mehrdad, Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design, Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [9] Daimler. [Online]. Available: <https://www.daimler.com/>. [Zugriff am 24 September 2019].
- [10] W. S. R. Zimmermann, Bussysteme in der Fahrzeugtechnik, Wiesbaden: Vieweg, 2014, pp. 57–152.
- [11] D. T. K. D. H. L. u. H. W. on Dr. Stefan Buntz, „Koaxialer High-Speed-Video-Link für Automobilanwendungen,“ 07 May 2012. [Online]. Available: <https://www.elektroniknet.de/elektronik-automotive/infotainment/koaxialer-high-speed-video-link-fuer-automobilanwendungen-88099.html>. [Zugriff am 24 September 2019].
- [12] 3GPP, „LTE,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. [Zugriff am 2019 September 24].
- [13] AVL. [Online]. Available: <https://www.avl.com/>. [Zugriff am 24 September 2019].

Acknowledgement:

1000kmPLUS (<https://1000kmplus.eu/>) is receiving funding within the European Union's H2020 Framework Program, under grant agreement no. 824262.



Kontakt:



Martin Fischer, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

m.fischer@oth-aw.de



Johanna Steindl, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

jo.steindl@oth-aw.de



Heike Lepke, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

h.lepke@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Vizepräsident Forschung und
Technologietransfer,
wissenschaftlicher Nachwuchs
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.hoess@oth-aw.de



Wohnungsbau und Siedlungswerk Werkvolk eG
mehr als eine Wohnungsgenossenschaft

- ✓ Innovativ, nachhaltig, zukunftsorientiert.
- ✓ Qualitativer Wohnraum – bezahlbare Mieten.
- ✓ Immer einen Schritt weiter –
von Mobilitätskonzepten bis zum Smart Home

www.ws-eg.de

Wohnungsbau und Siedlungswerk Werkvolk eG
Büro Amberg:
Hans-Thoma-Str. 9
92224 Amberg

Ihr zuverlässiger Partner
rund ums Wohnen!

SGW

STADTBAU GMBH
WEIDEN



Zuhause in Weiden!

STADTBAU GMBH WEIDEN | AM STOCKERHUTPARK 1 | 92637 WEIDEN | TEL.: 09 61 - 3 89 04 - 0 | WWW.SGW-WEIDEN.DE

Zusammenfassung

Unter den aktuellen Trends, die die Gesellschaft in den kommenden Jahren massiv beeinflussen werden, sticht das autonome Fahren in besonderer Weise heraus. Es besitzt das Potenzial, die Automobilindustrie, wie wir sie heute kennen, sehr stark zu verändern. Vollautomatisiertes Fahren repräsentiert eine Schlüsseltechnologie zur Erzielung sicherer, sauberer und effizienter Mobilität. Um diese gesellschaftliche Herausforderung Realität werden zu lassen, müssen die einzelnen Stufen der Automatisierungskette (Erkennen, Planen und Agieren) fehlertolerante Eigenschaften besitzen, um sicherzustellen, dass sicherheitsrelevante Situationen eigenständig bewältigt werden können. In heute verfügbaren Systemen ist dies noch nicht der Fall. Heutigen Ansätzen fehlen die sichere, zuverlässige Umgebungserkennung und Sensorfusion.

Das Ziel in PRYSTINE ist die Realisierung einer fehlertoleranten 360°-Umfeldwahrnehmung (in engl. Fail-operational Urban Surround perceptiON, FUSION), die – basierend auf robuster Radar- und Lidar-Sensorfusion und Kontrollalgorithmen – automatisiertes Fahren in urbanen Umgebungen sowie auf Landstraßen ermöglichen soll. Darüber hinaus wird PRYSTINE die Kernkompetenzen der europäischen, speziell der deutschen Industrie, von Forschungseinrichtungen und Universitäten auf dem Gebiet intelligenter Mobilität stärken. Dies gilt in besonderer Weise für Elektronikkomponenten und -systeme sowie cyber-physische Systeme [2].

Die Aufgabe der OTH Amberg-Weiden (OTH AW) im Projekt liegt in der Entwicklung dynamisch geformter, zuverlässiger Mobilkommunikation für das automatisierte Fahren. Die hierfür erforderlichen Algorithmen werden im Forschungsfahrzeug der Hochschule im praktischen Betrieb evaluiert.

Abstract

The automation of vehicles – ultimately aiming at fully autonomous driving – has been identified as one major enabler to master the Grand Societal Challenges “Individual Mobility” and “Energy Efficiency”. Highly automated driving functions (ADF) are one major step to be taken.

One of the major challenges for the successful realization of highly automated driving is the step from SAE Level 2 (Partial automation) to SAE Levels-3 (Conditional automation) and above [1]. At Level 3, the driver remains available as a fallback option in the event of a failure in the automation chain, or if the ADF reaches its operational boundaries. At higher levels, the driver cannot be relied upon to intervene in a timely and appropriate manner, and consequently, the automation must be capable of handling safety-critical situations on its own. For this, fail-operational behavior is essential in the sense, plan, and act stages of the automation chain. PRYSTINE’s target is to realize Fail-operational Urban Surround perceptiON (FUSION), which is based on robust Radar and LiDAR sensor fusion, and control functions in order to enable safe automated driving in urban and rural environments.

OTH Amberg-Weiden is responsible for dynamically shaped communication to ensure reliable and safe data transfer between backend and frontend (automated vehicles) at highest possible data rates depending on the actual Quality of Service. Artificial Intelligence based algorithms will be implemented on safe embedded platform, integrated in our research vehicle and evaluated under real traffic conditions.

1 Einleitung

Die Automatisierung von Fahrzeugen zielt langfristig auf das vollautomatisierte Fahren ab. Sie wurde als Schlüsseltechnologie zur Erreichung der gesellschaftlichen Ziele individueller Mobilität bei gleichzeitiger Energieeffizienz identifiziert. Hochautomatisierte Fahrfunktionen (engl. Highly Automated Driving Functions, ADF) bedeuten einen großen Schritt in Richtung autonomes Fahren. Eine der wesentlichen Herausforderungen, hochautomatisiertes Fahren umzusetzen, ist der Schritt von SAE Level 2 (Teilautomatisierung) hin zu SAE Level 3 (Hochautomatisiertes Fahren) und höher [1]. Da hier der Fahrer Nebentätigkeiten ausführen darf (etwa im Internet surfen oder Emails bearbeiten), muss auch im Fehlerfall Betriebssicherheit garantiert werden. PRYSTINE entwickelt hierfür geeignete E/E-Architekturen und -Steuerungen.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	The full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task when enhanced by warning or inter-vehicle systems.	Human driver	Human driver	Human driver	None
1	Driver Assistance	The driving mode-specific assistance by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task.	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	The driving mode-specific assistance by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task.	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene.	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene.	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	The full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver.	System	System	System	All driving modes

Abbildung 1: Automatisierungsgrade und Verantwortlichkeiten gemäß SAE-Definition [1]

Beim SAE Level 3 bleibt der Fahrer verfügbar – als Rückfalloption – für den Fall, dass in der Automatisierungskette ein Fehler auftritt oder die automatisierte Fahrfunktion an ihre Grenzen stößt. Bei dieser Ebene muss der Fahrer mit ausreichend zeitlichem Vorlauf auf die bevorstehende Übernahme der Fahrfunktion hingewiesen werden. Bei noch höheren Automatisierungsgraden (Level 4 und insbesondere Level 5) steht der Fahrer nicht als Rückfalloption zur Verfügung, so dass die Automatisierung in der Lage sein muss, sicherheitsrelevante Situationen selbständig bewältigen zu können. Bei diesen Automatisierungsstufen ist Fehlertoleranz entscheidend, und zwar entlang der gesamten Automatisierungskette, angefangen vom Erkennen über das Planen bis hin zur Ausführung. Genau hier setzt PRYSTINE an. Das Projekt verfolgt das Ziel, für die Automatisierungsstufen 3–5 eine fehlertolerante Rundumwahrnehmung zu realisieren (engl. Fail-operational Urban Surround perceptiON, FUSION), welche auf robuster Radar- und Lidar-Sensorfusion basiert.

Die im Projekt zu entwickelnden Kontrollfunktionen sollen sicheres automatisiertes Fahren in urbaner Umgebung sowie auf Landstraßen ermöglichen. Gerade das komplexe, urbane Umfeld ist häufig wenig strukturiert,

so dass neben regelbasierten Signalverarbeitungsalgorithmen Methoden der künstlichen Intelligenz in die Steuerungen integriert werden müssen. Diese Komplexität macht es nötig, dass neben den Informationen der in Fahrzeug verbauten Sensoren, auch zusätzliche Informationsquellen herangezogen werden müssen. Hierzu ist die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern genauso wichtig, wie das Zusammenspiel zwischen Verkehrsteilnehmer und der Infrastruktur. Während bei moderner Mobilfunkkommunikation der Fokus auf immer höheren Datenraten liegt, die neue mobile Dienste ermöglichen, ist beim autonomen Fahren besonders die Latenz, als die Reaktionszeit der Verbindung, sowie die Stabilität der Verbindung zu beachten. Um also einen solchen Kommunikationskanal zu erhalten, entwickelt die OTH AW im Projekt PRYSTINE zusammen mit den Projektpartnern eine Plattform, die in der Lage ist, zwischen mehreren Mobilfunk Providern zu wechseln und durch Prädiktion der Mobilfunkqualität eine optimale Verbindung hinsichtlich Latenz und Stabilität zu erreichen.

2 Gesamt Projektzielsetzung

Sicheres automatisiertes Fahren in Städten und auf Landstraßen ist wesentlich von der Umfelderkennung eines Fahrzeugs abhängig. Ziel von PRYSTINE ist die Realisierung einer ausfallsicheren 360°-Umfeldwahrnehmung. Wir tragen dieser Forderung mit der leistungsfähigen FUSION-Plattform Rechnung. FUSION steht für „Fail-operational Urban Surround perceptiON“ [2]. Diese Plattform fusioniert die Informationen der Fahrzeugsensoren mit den Daten der hochgenauen digitalen Karte und den Informationen, die über Kommunikation ins Fahrzeug gelangen [4]. Dies schafft Performanz, Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit.

Die geplanten Projektergebnisse schaffen die Voraussetzungen für die Entwicklung des hoch- und vollautomatisierten Fahrens. Insbesondere die erforschte Fehlertoleranz und Ausfallsicherheit stellen essenzielle Beiträge zur Realisierung der Vision eines sichereren Verkehrs dar.

2.1 Projektzielsetzung an der OTH Amberg-Weiden

Für automatisiertes Fahren müssen teils umfangreiche Daten, etwa dynamische Updates der präzisen digitalen Karte (z. B. bei Wanderbaustellen oder anderen Änderungen der Straßenführung) sicher, zuverlässig und schnell in das Fahrzeug übertragen werden. Hierfür wird Mobilfunk (derzeit LTE, also 4G) eingesetzt. Da die präzise Umfelderkennung und die aktuelle hochgenaue digitale Karte Grundvoraussetzung für die autonome Navigation sind, muss die Mobilfunkverbindung möglichst hohe Datenraten bei möglichst geringen Latenzzeiten gewährleisten.

Der Beitrag der OTH Amberg-Weiden in PRYSTINE betrifft die ausfallsichere Kommunikation. Da gerade in ländlichen Regionen und zwischen Landesgrenzen die

Abdeckung mit Mobilfunk nicht immer gewährleistet ist und es so zu Funklöchern oder längeren Wechselzeiten zwischen den Mobilfunkmasten kommen kann, entsteht beim autonomen Fahren eine instabile Verbindung und es kann zu hoher Latenz kommen. Um diese zu vermeiden und die Verbindungsqualität der Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und einem Server zu erhöhen, entwickelt die OTH AW im Projekt PRYSTINE ein auf KI-Methoden basierendes Verfahren zur Prädiktion der zukünftigen Latenz einer Mobilfunkverbindung. Im Projekt PRYSTINE geschieht dies, indem eine Hardware mit zwei Mobilfunkverbindungen unterschiedlicher Provider eingesetzt wird, welche je nach Prädiktion die Daten über die eine oder die andere Verbindung kommuniziert. Ziel dabei ist es, die Rundenzeit zwischen Senden einer Anfrage und Empfang der Antwort (RTT) möglichst unter 400 ms zu halten. Wie dies im konkreten Fall erreicht werden soll, ist in Abbildung 2 gezeigt, wo der erreichte RTT-Wert über die prozentuale Anzahl der Verbindungen aufgezeigt wird. Während das obere Diagramm den Zustand mit nur einer Modulfunkverbindung zeigt, wird im unteren die durch das Projekt angestrebte Verbesserung gezeigt.

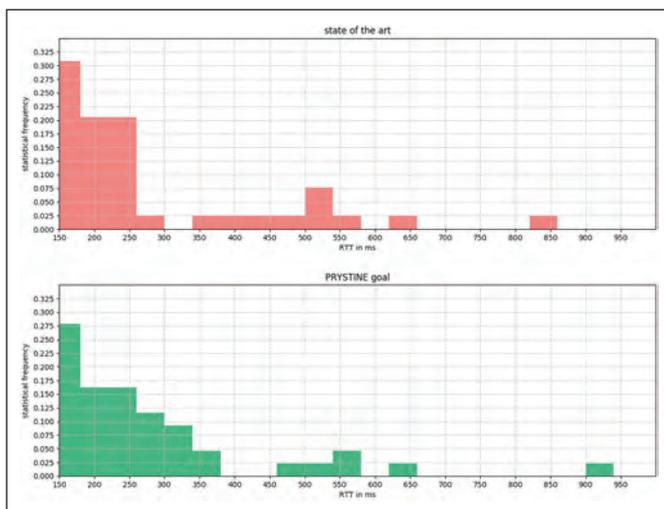


Abbildung 2: Angestrebte Verbesserung bezüglich der Latenz im Projekt PRYSTINE

3 Hardware Setup

Zur Entwicklung eines solchen Prädiktionsalgorithmus und zur Datenaufnahme wird ein Entwicklungssystem eingerichtet. Es enthält einen leistungsstarken, lüfterlosen Fahrzeugcomputer VTC 7240 (Abbildung 3), der mit einer Intel i7-5650U CPU ausgestattet ist und 8 GB RAM besitzt. Das System bietet mehrere Schnittstellen, unter anderem zwei LAN-, eine RS-232- und bis zu drei SIM-Karten zur Nutzung von zwei Mobilfunkmodems. Durch seine Vibrations- und Stoßfestigkeit passt er perfekt in den Automotive-Bereich. Um eine Mobilfunkverbindung herzustellen, werden zwei Mobilfunk-Module an den Computer angeschlossen. Hierbei wird die neueste Generation von LTE-Modulen der Firma Sierra Wireless verwendet. Da die Module eine M.2-Schnitt-

stelle haben und der Computer nur Mini-PCIe-Steckplätze enthält, wird ein Adapter benötigt, was jedoch keinen Einfluss auf den Durchsatz der Module hat. Die Mobilfunk-Module ermöglichen maximal 600 Mbit/s Download- und bis zu 150 Mbit/s Upload-Geschwindigkeit. Proscan-Breitbandantennen werden aufgrund ihrer Kompatibilität mit den für Mobilfunknetze typischen Frequenzen ausgewählt. Sie werden mit speziellen Magneten für Fahrgeschwindigkeiten bis zu 150 km/h und einer Verstärkung von bis zu 12 dB ergänzt. Darüber hinaus verfügt jedes Modem über eine integrierte GPS-Funktion mit einer Abtastrate von 1 Hz, die eine zusätzliche GPS-Antenne erfordert.



Abbildung 3: OTH AW Entwicklungsplattform

Da diese Hardware vergleichsweise schwer ist und eine für den Automotive-Bereich hohe Leistungsaufnahme aufweist, ist es Ziel des Projektes, die Rechenleistung nach Möglichkeit zu reduzieren. Die Zielhardware ist die Routerplattform der Partnerfirma ANYWI, die bereits im produktiven Einsatz ist. ANYWI verwendet ein Embedded Board mit einer AMD Embedded GX-412TC CPU und 2 GB RAM. Die Rechnerressourcen sind also deutlich geringer, zumal auch das Routing-System auf dieser Hardware läuft. Ein Bild des Routers mit drei Mobilfunkmodems ist in Abbildung 4 dargestellt. In PRYSTINE ist es derzeit möglich, zwei davon zu verwenden, jedoch wird bei der Entwicklung eine Skalierung des Systems vorgesehen.



Abbildung 4: ANYWI-KOMMUNKATIONSPLATFORM FÜR FAHRZEUG-ZU-SERVER-ANWENDUNGEN

4 Software Setup

Um eine einfache Integration der Entwicklungssoftware in das System von ANYWI auf der einen Seite und eine flexible Entwicklung der Software auf der anderen Seite zu ermöglichen, wurde als Betriebssystem der Hardwareplattform Alpine Linux 3.9 gewählt. Es enthält die gleiche Kernelversion und Systembibliotheken wie OpenWRT, das in den ANYWI-Routern verwendet wird. So sollte eine Portierung der von der OTH AW entwickelten Software erleichtert werden. Da das im Projekt verwendete Setup zwei Mobilfunkverbindungen enthält, sind die beiden Modelle in das Betriebssystem integriert und alle zur Messung verwendeten Programme müssen eine konfigurierbare Schnittstelle verwenden können.

Ein wichtiger Bestandteil des Datenerfassungskonzeptes ist ein passives Quality of Service (QoS)-Messwerkzeug namens TCPAnalyzer [3], das von der OTH AW entwickelt wurde und in Abbildung 5 schematisch dargestellt ist. Die erste ihrer drei Architekturschichten erfasst die Eingangsdaten, die von den verschiedenen Geräten wie dem LTE-Modem, der Netzwerkschnittstelle und dem Global Positioning System (GPS) stammen. Jedes Gerät stellt andere Informationen zur Verfügung. Das LTE-Modem sammelt Informationen über mobile Parameter wie den Cellular Network Type sowie detaillierte physikalische Parameter wie RSSI, RSRP und ARFCN. Die Netzwerkschnittstelle wird verwendet, um Parameter der QoS, wie Durchsatz und Latenzzeit, passiv zu

berechnen. Da diese Werte passiv ermittelt werden, ist kein zusätzlicher Traffic auf dem Kommunikationskanal erforderlich.

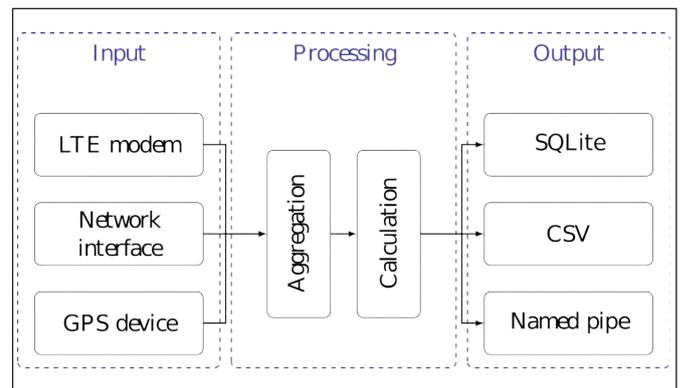


Abbildung 5: KONZEPT DES TCPANALYZER [3]

Zusätzlich werden Position und Geschwindigkeit über das GPS-Modul bereitgestellt. Alle diese Rohparameter werden in der zweiten Verarbeitungsschicht zusammengefasst. Diese Schicht führt auch die zuvor genannten Berechnungen von QoS-Größen durch, z. B. Download-Durchsatz und die Umlaufzeiten zwischen den TCP-Handshake-Nachrichten. Darüber hinaus enthält diese Komponente einen Plausibilitätsschritt für die berechneten Werte. In der letzten Schicht werden die resultierenden Daten entweder in einer SQLite-Datenbank, einer Tabelle oder in einer Pipeline gespeichert. Ein Überblick über diese Architektur ist in Abbildung 5 dargestellt.

5 Aktueller Stand und erste Ergebnisse

Im Rahmen einer Pressemitteilung des Bayerischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst wurde am 11.10.2019 das Projekt PRYSTINE vorgestellt und eine Demonstration des aktuellen Standes gezeigt. Diese beinhaltet die in Abbildung 6 dargestellte Web-Oberfläche, welche sowohl die aufgezeichneten Daten als auch verschiedene Verfahren zur Vorhersage visualisieren kann. Somit ist es in dieser Demonstration möglich, den Erfolg des verwendeten Verfahrens zu demonstrieren, also auch Schwächen aufzudecken und diese zu verbessern. Die so entwickelten Algorithmen sollen im Folgenden dazu verwendet werden, das Ziel des Projektes, ein vorausschauendes Umschalten zwischen mehreren Mobilfunk Providern, umzusetzen.

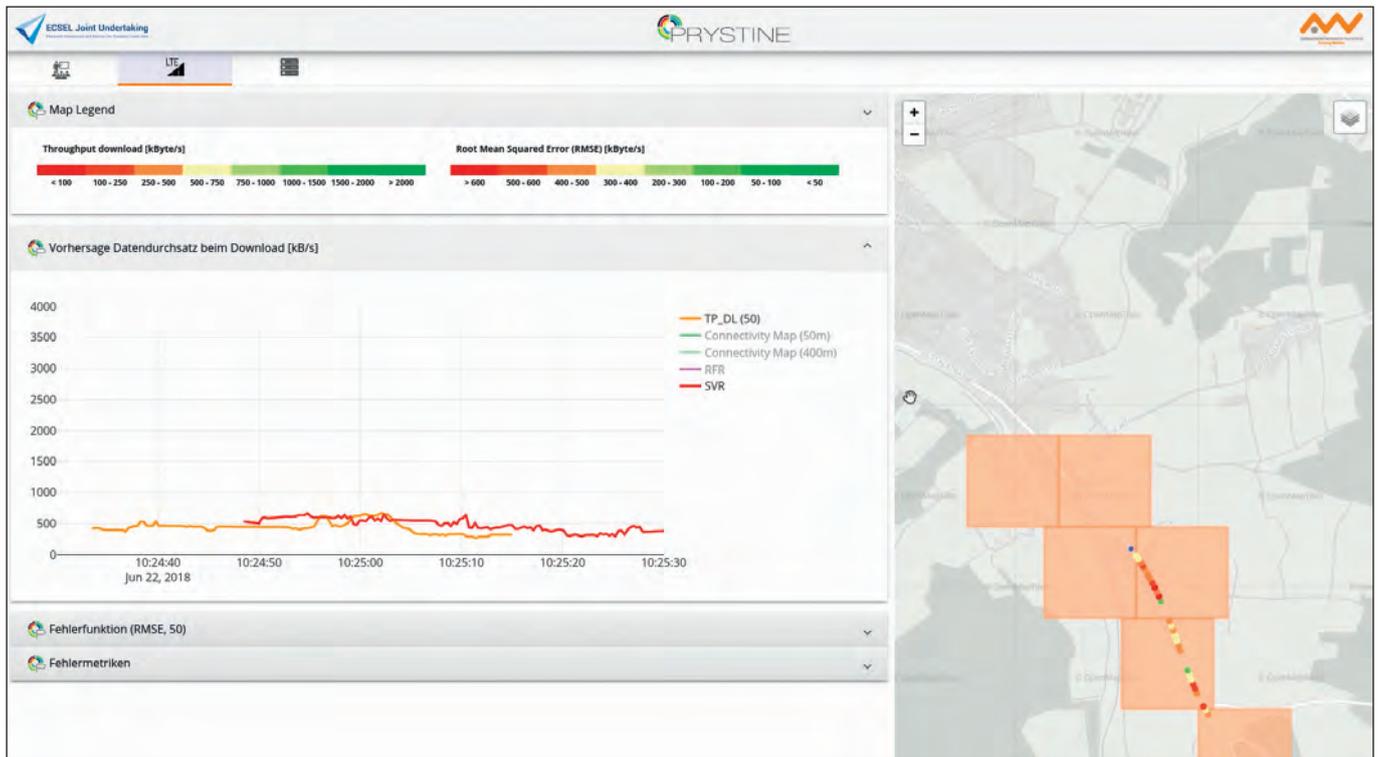


Abbildung 6: Demonstration der aufgenommenen Daten und der Vorhersage

Referenzen:

- [1] Society of Automotive Engineers, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems", SAE International Standard J3016, January 16, 2014
- [2] PRYSTINE, <https://prystine.eu/>, zuletzt angerufen am Oktober 16, 2019
- [3] Philipp Heß, Josef Schmid, Alfred Höß, "Development of a tool for passive monitoring a vehicle-to-server communication", OTH Amberg-Weiden Forschungsbericht 2018, Amberg, 2018
- [4] Josef Schmid, Alfred Höß, „Programmierbare Systeme für Intelligenz in Automobilen“, OTH Amberg-Weiden Forschungsbericht 2019, Amberg, 2019, S. 79–85

Projektpartner:

INFINEON TECHNOLOGIES AG, Germany
AITEK SOCIETA' PER AZIONI, Italy
ANYWI TECHNOLOGY BV, Netherlands
Autocar Media Group Ltd., Israel
CISC SEMICONDUCTOR GMBH, Austria
AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR
DEINVESTIGACIONES CIENTIFICAS, Spain
FICOSA ADAS, S.L., Spain
FORD OTOMOTIV SANAYI ANONIM SIRKETI, Turkey
DAT.Moblity BV, Netherlands
Generating New Technologies S.A., Greece
IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY SA, Spain
IDEAS & MOTION SRL, Italy
INSTITUTO TECNOLOGICO DE INFORMATICA, Spain
MATTERSOFT OY, Finland
MASERATI S.P.A., Italy
NOKIA SOLUTIONS AND NETWORKS OY, Finland
NXP SEMICONDUCTORS NETHERLANDS BV, Netherlands
POLITECNICO DI TORINO, Italy
RE:LAB S.R.L., Italy
ROVIMATICA SL, Spain
STARHOME, Israel
FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION, Spain
NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST
NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO, Netherlands
TECHNISCHE UNIVERSITAET GRAZ, Austria
TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT, Netherlands
TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN, Netherlands
TTY-SAATIO, Finland
UNIVERSITA DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA, Italy
UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCURESTI, Romania
TURUN YLIOPISTO, Finland
Kompetenzzentrum - Das Virtuelle Fahrzeug,
Forschungsgesellschaft mbH, Austria
UAB METIS BALTIC, Lithuania
CENTRO RICERCHE FIAT SCPA, Italy
AVL LIST GMBH, Austria
videantis GmbH, Germany
INTERUNIVERSITAIR MICRO-ELECTRONICA CENTRUM,
Belgium
DICE DANUBE INTEGRATED CIRCUIT ENGINEERING
GMBH & CO KG, Austria
INNOLUCE BV, Netherlands
AVL ARASTIRMA VE MUHENDISLIK SANAYI VE TICARET
LIMITED SIRKETI, Turkey
TTS Kehitys Oy, Finland
INFINEON TECHNOLOGIES AUSTRIA AG, Austria
FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITAET ERLANGEN
NUERNBERG, Germany
IRIZAR S COOP, Spain
MURATA ELECTRONICS OY, Finland
OKMETIC OY Finland, Finland
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Finland
TTTech Computertechnik AG, Austria
TENNECO AUTOMOTIVE EUROPE BVBA, Belgium
ELEKTRONIKAS UN DATORZINATNU INSTITUTS, Latvia
EPOS embedded core & power systems GmbH
& Co. KG, Germany
TTTech Germany GmbH, Germany
KUNGLIGA TEKNISKA HOEGSKOLAN, Sweden
SCANIA CV AB, Sweden
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden,
Germany
HABITUS RESEARCH, Turkey
Noord-Brabant Provincie – MobilityMoveZ, Netherlands
BAYERISCHE MOTOREN WERKE
AKTIENGESELLSCHAFT, Germany
Hochschule Offenburg, Germany
TTTech Auto AG, Austria

Fördergeber:

PRYSTINE (Projektnr. 783190) wurde im Rahmen des ECSEL-Calls 2017 als Research and Innovation Action (RIA) eingereicht und landete im Ranking der Gutachter auf Platz 1 unter allen eingereichten Projektvorschlägen – entsprechend hoch ist die Erwartungshaltung. PRYSTINE startete am 1.5.2018 und hat eine Laufzeit von 3 Jahren. Die Projektkosten betragen knapp 51 Mio. €. Diese werden zum Teil gefördert, auf europäischer Ebene durch die EU im Rahmen H2020 und auf nationaler Ebene durch das BMBF.



Kontakt:



Josef Schmid, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

j.schmid@oth-aw.de



Daniel Scharf, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

da.scharf@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Vizepräsident Forschung und
Technologietransfer,
wissenschaftlicher Nachwuchs
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.hoess@oth-aw.de

Zusammenfassung

Cloud-Speicherdienste, wie beispielsweise Dropbox, iCloud, Microsoft OneDrive oder Amazon S3, erfreuen sich einer wachsenden Beliebtheit bei den Benutzern. Sie bieten die Möglichkeit, Daten in der Cloud zu speichern und diese gleichzeitig konsistent auf ein oder mehrere Geräte zu spiegeln. Aufgrund dieser Funktionalität glauben viele Benutzer, dass es nicht mehr notwendig sei, Backups ihrer Daten zu erstellen. Dieser vermeintliche Trugschluss soll anhand von Fällen von Datenverlust aus der Vergangenheit aufgeklärt werden. Anschließend werden verschiedene, moderne Cloud Backup-Strategien verglichen und ein Fazit gezogen.

Abstract

Cloud storage services such as Dropbox, iCloud, Microsoft OneDrive and Amazon S3 are rapidly growing in popularity. The data a user stores there can be retrieved with multiple devices. This misleads cloud users into thinking that backups of their data are no longer necessary. Case examples of data loss will be provided to illustrate this misconception. Modern cloud backup strategies will subsequently be compared and a conclusion will be drawn.

1 Einleitung

„Cloud-Computing ist auf dem Vormarsch“, titelte ein Anfang letzten Jahres auf der Webseite horizont.net erschienener Artikel (vgl. [1]). Aus diesem Bericht geht hervor, dass vor allem der Mittelstand immer häufiger Datenbestände und Dienste zu einer Cloud-Lösung migriert. Auf der anderen Seite steigt aber auch die Anzahl der Anwender, die Sicherheitsmängel befürchten, stark. So befürchten die Nutzer fehlerhafte oder unzuverlässige Datensicherheit (vgl. [2]). Einer der massivsten, globalen Angriffe gegen die Informationssicherheit, im Besonderen gegen das Schutzziel Verfügbarkeit, in den vergangenen Jahren waren Angriffe mithilfe sogenannter Ransomware (umgangssprachlich Verschlüsselungstrojaner). Hierbei wird versucht, Lösegeld zu erpressen, indem ein Angreifer persönliche Daten oder gar den kompletten PC seines Opfers verschlüsselt. Der Angriff selbst durchläuft dabei folgende Phasen. Zunächst wird das Opfer dazu verleitet, schadhafte Code, welcher sich beispielsweise in einem präparierten E-Mail-Anhang befindet, auf seinem PC auszuführen.

Anschließend beginnt der Verschlüsselungstrojaner die Daten des Opfers im Hintergrund zu verschlüsseln. Das Opfer bemerkt hiervon in der Regel zunächst nichts. Nach Abschluss des Verschlüsselungsprozesses sind die betroffenen Daten für das Opfer nicht mehr nutzbar und es wird ein Hinweis zur (vermeintlichen) Entschlüsselung nach Zahlung einer gewissen Summe (meistens in Bitcoin) präsentiert. Es ist in der Regel nicht klar, ob diese Zahlung tatsächlich auch zur Entschlüsselung der Daten führt (vgl. [3]), da sie aber das Bestreben der Kriminellen in jedem Falle antreibt, ist dringend hiervon abzuraten. Auch Cloud-Umgebungen sind für diese Art von Angriffen anfällig (vgl. [4]).

Laut dem Aufsatz „Ransomware: Bedrohungslage, Prävention & Reaktion“ (vgl. [5]) des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), soll die Anzahl dieser Angriffe auch in den nächsten Jahren weiterhin steigen. Das BSI nennt hierbei kontinuierliche Datensicherungen als „die wichtigste Sicherheitsmaßnahme“ (vgl. [5] Kapitel 4.2) gegen diese Art von Angriffen.

Unter Beteiligung von Professoren aus Schottland, der OTH Amberg-Weiden sowie zwei Amberger Studenten, wurde ebenfalls zu diesem Thema auf der 10. internationalen "Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization" in Venedig, eine Arbeit mit dem Titel "Cloud Security and Security Challenges revisited" (vgl. [6] C. Malware infection) eingereicht und vorgestellt. In diesem Aufsatz werden bekannte Angriffsmethoden gegen Cloud-Umgebungen erneut bewertet. Unter anderem wurde die Auswirkung von Ransomware-Angriffen auf Cloud-Umgebungen untersucht und als sehr hohe Bedrohung auf die Schutzziele in der Informationssicherheit (Verfügbarkeit, Vertraulichkeit, Integrität) eingestuft.

Im Folgenden zeigen wir auf, dass trotz der hohen Verfügbarkeit von Cloud-Diensten, Backups der Daten unverändert zwingend erforderlich sind. Anschließend diskutieren wir unterschiedliche Backup-Strategien für Cloud-Dienste, die zur Sicherung der Daten genutzt werden können. Abschließend wird ein kurzes Fazit gezogen.

2 Notwendigkeit von Backups in Cloud Umgebungen

In klassischen IT-Umgebungen sind die Erstellung und Verwaltung von Backups mittlerweile Alltag und gut in den Arbeitsalltag einer jeden IT-Abteilung integriert sowie dokumentiert (vgl. [7]). Der ungebrochene Trend, lokal betriebene Server und Dienste in Cloud-Umgebungen zu migrieren, bedarf jedoch einer erneuten Betrachtung verschiedener bereits bekannter sowie neuer Datensicherungsstrategien. Durch die von den Cloud-Anbietern zugesicherte hohe Verfügbarkeit der gehosteten Daten und Dienste entsteht oftmals der Trugschluss, es gäbe keine Notwendigkeit für traditionelle Backups mehr. Beispiele über Vorfälle, welche zu einem unwiederbringlichen Datenverlust bei verschiedenen Cloud-Anbietern führten, werden beispielsweise von den Autoren Christopher Tozzi (vgl. [8]), Celia Chen (vgl. [9]) oder Henry Blodget (vgl. [10]) beschrieben. Diese machen deutlich, dass trotz einer vom Cloud-Anbieter garantierten Verfügbarkeit der Kunde eines solchen Dienstes nach wie vor für die Sicherung seiner Daten verantwortlich ist, solange es nicht anders mit dem Cloud-Anbieter vereinbart wurde (beispielsweise via SLAs oder in den AGBs).

2.1 Rechtliche Vorgaben

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die rechtliche Verantwortung für die gespeicherten und persönlichen Daten. So schreibt beispielsweise die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) explizit vor, dass ein Unternehmen, welches personenbezogene Daten verarbeitet, dieses bei einem physischen oder technischen Zwischenfall rasch wiederherstellen können muss (vgl. Art. 32 DSGVO [11]). Angenommen ein solches Backup würde täglich während der Nacht durchgeführt, dann verliert der Kunde maximal die Daten, die am Vortag erzeugt wurden. Hierbei ist be-

sonders hervorzuheben, dass diese Pflicht das Unternehmen und nicht etwa einen zur Speicherung beauftragten Cloud-Serviceanbieter betrifft (vgl. [12]).

2.2 Datensicherung als Ransomware-Schutz

Bei einem Ransomware-Angriff handelt es sich um einen Angriff gegen das Schutzziel Verfügbarkeit, bei dem die Schadsoftware versucht, sämtliche auf einem Dateisystem befindliche Daten zu verschlüsseln (vgl. 1.). Der Zugriff auf die verschlüsselten Daten ist anschließend nur durch die Entschlüsselung dieser mittels des vom Täter verwendeten Schlüssels möglich. Da nicht gewährleistet ist, dass die Daten nach Zahlung einer Lösegeldforderung auch tatsächlich wieder korrekt entschlüsselt werden, ist es für die IT-Verantwortlichen meist einfacher und kostengünstiger, die betroffenen Daten aus einem zuvor erstellten Backup wiederherzustellen, falls dieses noch verfügbar ist. Im Falle einer von einem Ransomware-Angriff betroffenen Stadtverwaltung in Unterfranken (vgl. [13]), konnten beispielsweise selbst nach Zahlung der Lösegeldforderung nicht alle Daten wiederhergestellt werden. Dieses Beispiel verdeutlicht erneut die Wichtigkeit einer geplanten und getesteten Datensicherungsstrategie.

Besonders durch die Medien bekannt geworden ist die Ransomware "WannaCry" (vgl. [14]), welche 2017 mehr als 300.000 Systeme, darunter Krankenhäuser und Regierungsbehörden, in über 150 Ländern außer Gefecht setzte. Das Besondere an dieser Schadsoftware ist, dass sie nach einer erfolgreichen Infizierung eines Systems versucht, als Wurm in weitere mit diesem System verbundene Geräte einzudringen.



Abbildung 1: Screenshot des "WanaCry" Erpressungsversuchs

Ein solcher erfolgreicher Angriff auf die Infrastruktur eines Cloud-Anbieters wäre fatal (vgl. [15]), da hier im Ernstfall nicht nur ein einzelner Cloud-Kunde, sondern alle Kunden des Anbieters betroffen sein könnten. Nicht minder schwerwiegend wären die Auswirkungen, sollte ein einzelner Zugang zur privaten Cloud einer Firma angegriffen werden, da in diesem Fall, je nach Höhe der Berechtigun-

gen, alle damit verknüpften Daten verschlüsselt würden. Da in den meisten Cloud-Modellen der Kunde keinen direkten Zugriff auf die Sicherheitsmaßnahmen (Netzwerksicherheit/Überwachung, Patch-Management etc.) seiner Cloud-Umgebung hat, bleibt dem Kunden als effektiver, vorbeugender Schutz hier nur die Möglichkeit (vgl. [5]), regelmäßige Datensicherungen seiner in der Cloud gespeicherten Daten anzulegen.

3 Verschiedene Cloud Backup-Strategien

Die oben genannten Beispiele machen deutlich, wie wichtig eine durchdachte Backup-Strategie insbesondere in Cloud-Umgebungen ist (vgl. 2.2). Nachstehend sollen einige Backup-Ansätze näher beleuchtet werden.

3.1 Cloud nach On-Premises

Bei dieser Methode werden die in der Cloud gespeicherten Daten zu Sicherungszwecken On-Premises, also in die lokale, selbst gehostete und gemanagte Umgebung des Unternehmens, gesichert. Häufig wird hierfür Hardware verwendet, die durch die Migration von lokalen Diensten (zur Cloud hin) übriggeblieben sind. Verfügt die Firma über mehrere Standorte, können die Backups zur erweiterten Sicherung auch dort (Geo-) redundant abgelegt werden.

Die Vorteile bei dieser Herangehensweise sind, dass der Cloud-Kunde eine lokale Sicherung seiner in der Cloud gespeicherten Dateien hat und ist somit „Herr“ über deren Aufbewahrung ist. Sollte die Cloud außerdem von einem Ransomware-Angriff betroffen sein, sind die Backups trotzdem (weitestgehend) geschützt, da sie beim Cloud-Kunden lokal gespeichert sind. Der Cloud-Kunde kann des Weiteren unabhängig vom Cloud Anbieter, die Backups wiederherstellen und ebenso sichergehen, dass Backups, sollten sie nicht weiter benötigt werden, sicher gelöscht werden, da wie eingangs beschrieben, der Cloud-Kunde die Daten auf lokaler, bestehender Hardware sichert.

Auf der anderen Seite geht der ursprüngliche Gedanke hinter einer Cloud, alte Systeme abzuschaffen und damit Zeit und Geld durch deren Wartung zu sparen, verloren. Zusätzliche müssen On-Premises-Systeme regelmäßig gewartet werden. Nach einem Garantieablauf der lokalen Geräte entstehen Kosten für Garantieverlängerungen oder Neuanschaffungen. Schließlich ist die „Georedundante“ Aufbewahrung von Daten, wie in der Cloud üblich, meist nicht im gleichen Umfang gegeben. Bei einem lokalen Vorfall (Naturkatastrophe etc.) sind meist auch die lokal gespeicherten Daten betroffen.

3.2 Backup in der gleichen Cloud

In diesem Szenario werden vom Cloud-Anbieter extra Ressourcen innerhalb der Infrastruktur des Betreibers zur Datensicherung zur Verfügung gestellt. Die Annahme, diese Ressourcen würden sich in unabhängigen, getrenn-

ten Umgebungen befinden, kann meistens nicht klar beantwortet werden, da es in der Natur der Cloud liegt, dass nicht genau ausgemacht werden kann, wo die (Produktions-) Daten liegen.

Da die Backup-Daten „am gleichen Ort“ wie die Originaldaten gespeichert sind, können diese in einem Recovery-Szenario schnell wiederhergestellt werden. Ein weiterer Vorteil ist die Kostenersparnis, Datenspeicher in der Cloud ist in der Regel kostengünstiger als On-Premises-Speicher.

Der größte Nachteil dahingehend besteht darin, dass falls ein Cloud-Zugang, welcher über ausreichend Rechte verfügt, kompromittiert wurde, ebenfalls alle Datensicherungen als nicht mehr geschützt angesehen werden müssen. Außerdem besteht die Gefahr eines möglichen, sogenannten Vendor-Locks, sollte der Cloud-Anbieter seine Dienste einstellen, ist kein Zugriff auf die Datensicherungen mehr möglich. Die Wiederherstellbarkeit einer Datensicherung ist komplett vom Cloud-Anbieter abhängig, außerdem obliegt die Verantwortung, die Datensicherungen korrekt und einfach wiederherstellbar abzuspeichern, vollständig auf Cloud-Anbieter-Seite.

3.3 Separate Backup-Cloud

Hierbei werden die Backups bei einem anderen Cloud Service Provider abgelegt. Durch Schnittstellen der meisten Cloud-Anbieter nach außen und untereinander erfolgen die Einrichtung und der Datentransfer problemlos. Verschiedene Backup-Softwares bieten hierfür bereits vorkonfigurierte Abläufe an. Sollte es zu einem sicherheitsrelevanten Vorfall bei einem Cloud-Anbieter kommen, liegen die Daten geschützt und isoliert bei einem anderen.

Einer der Vorteile bei dieser Strategie ist, dass eine hohe Datensicherheit durch die Auslagerung in eine getrennte Infrastruktur sichergestellt wird. Außerdem werden Kosten gespart, da Datenspeicher in der Cloud in der Regel kostengünstiger als On-Premises-Speicher und keine zusätzlichen Rechenkapazitäten On-Premises mehr notwendig sind. Die Sicherungen werden direkt aus der Cloud erstellt, selbst wenn die On-Premises-Systeme offline sein sollten. Es müssen keine On-Premises-Systeme zusätzlich gewartet werden. Des Weiteren haben Cloud-Rechenzentren in der Regel eine sehr hohe Up- und Download-Rate, weshalb Sicherungen schnell erstellt und zurückgespielt werden können. Alle Vorteile einer Cloud (Flexibilität, Planbarkeit, Ausfallsicherheit etc.) sind gegeben.

Als Nachteil kann man einen erhöhten Kostenaufwand, durch zusätzliche Service-/Cloud-Pläne sowie einen größeren Erst-Einrichtungsaufwand, sehen. Außerdem ist der Kunde bei dieser Strategie gleich von zwei Cloud-Providern und deren Kooperation untereinander abhängig. Die Wiederherstellbarkeit einer Datensicherung ist wiederum

komplett vom Cloud-Anbieter abhängig. Es besteht ein möglicher Vendor Lock, falls einer der beiden Cloud-Provider seine Dienste einstellt. Des Weiteren besteht die Verantwortung des Cloud-Anbieters, die Datensicherungen korrekt und einfach wiederherstellbar abzuspeichern. Schließlich ist die Konformität mit verschiedenen Zertifizierungen (bspw. ISO 27001) oder rechtlichen Bestimmungen (bspw. DSGVO) von der Einhaltung dieser vom Cloud-Anbieter abhängig.

3.4 Vergleich der vorgestellten Backup-Strategien

Verschiedene Backup-Strategien haben unterschiedliche Vor- und Nachteile. So liegt bei der „Cloud nach On-Premises“ die vollständige Kontrolle über die Sicherungen und Wiederherstellungen beim Kunden, dieser gibt aber zugleich die Vorteile einer Cloud-Lösung mehr oder weniger auf, da die für die Datensicherung benötigte Hardware selbst gewartet und abgesichert werden muss.

Dahingegen bieten die beiden Lösungsansätze „Backup in der gleichen Cloud“ sämtliche Cloud-Vorteile einer gehosteten und gemanagten Infrastruktur, allerdings begibt sich der Kunde unweigerlich in die Abhängigkeit des oder der Cloud Service Provider. Dieser Nachteil kann durch entsprechende Verträge, wie Service Level Agreements (SLAs), mit dem Cloud-Anbieter begegnet werden. Zusätzlich können viele der angesprochenen Nachteile bei den beiden zuletzt genannten Varianten, auch durch regelmäßige Audits und Tests der erfolgreichen Backup- und Wiederherstellungsaufgaben durch den Cloud-Kunden, gemindert werden. Um einen möglichen Vendor Lock zu vermeiden, empfiehlt es sich außerdem auf bereits etablierte Cloud-Anbieter zu bauen. Oftmals bieten diese zusätzlich direkten Schnittstellen zwischen den Rechenzentren der jeweiligen Cloud-Anbieter an, was dem Ansatz der „separaten Backup-Cloud“ entgegenkommt. Um

das Risiko eines Totalausfalls der Wiederherstellbarkeit von Backups zu umgehen, sollte beim On-Premises-Ansatz darauf geachtet werden, die Sicherungen redundant, falls möglich an lokal getrennten Orten abzulegen. Im „Backup nach Cloud“-Konzept empfehlen wir, auf einen zweiten Cloud-Anbieter zu setzen, da so bei einem Vorfall bei dem produktiv Cloud-Anbieter die Daten zusätzlich gesichert und isoliert in einer eigenen Infrastruktur gespeichert sind. Dieses Konzept kann eventuell auch direkt von einem Cloud Service Provider angeboten werden, indem er Backup-Daten separat und autark abspeichert, dies ist allerdings aufgrund der Natur einer Cloud-Umgebung (Unwissenheit, wo genau Daten gespeichert sind), eher unüblich.

4 Fazit

Nicht nur aufgrund rechtlicher Bestimmungen (vgl. 2.1) sondern insbesondere zum Schutz vor Datenverlust durch Ransomware-Angriffe (vgl. 2.2) sollte eine Backup-Strategie in keinem IT-Sicherheitskonzept fehlen. Durch die Auslagerung von On-Premise-Diensten in die Cloud (vgl. 2) entfällt diese Sicherheitsmaßnahme nicht. Wie gezeigt wurde, gibt es verschiedene Möglichkeiten die in der Cloud gespeicherten Daten zu sichern (vgl. 3.1, 3.2 & 3.3). Die aus unserer Sicht sicherste Backup-Strategie ist, die Daten aus der genutzten Cloud-Lösung in die Cloud eines anderen, unabhängigen Anbieters zu sichern (vgl. 3.3). Neben der grundsätzlichen Backup-Strategie gibt es natürlich noch weitere Faktoren, die für eine sichere Datenaufbewahrung beachtet werden müssen. Dies sind beispielsweise Aufbewahrungspflichten, verschiedene Backup-Arten wie Voll-, differenzielles oder inkrementelles Backup oder unterschiedliche Speichermedien, unterschiedliche Cloud-Modelle und -Lizenzierungen, regionale Gesetzgebungen, branchenspezifische Besonderheiten und viele mehr.

Referenzen:

- [1] „Deutscher Mittelstand: Cloud-Computing ist auf dem Vormarsch“. <https://www.horizont.net/tech/nachrichten/Deutscher-MittelstandCloud-Computing-ist-auf-dem-Vormarsch-164342>.
- [2] „9 von 10 Unternehmen mit Sicherheitsbedenken beim Cloud Computing | Kroker's Look @ IT“. <https://blog.wiwo.de/look-atit/2019/03/07/9-von-10-unternehmen-mitsicherheitsbedenken-beim-cloud-computing/>.
- [3] „Zahlen oder nicht zahlen die Misere für Ransomware-Opfer“. <https://www.kaspersky.de/blog/dont-pay-ransom/6356/>.
- [4] "Cloud-based virtual desktop provider hit by ransomware | ZDNet". <https://www.zdnet.com/article/cloud-based-virtual-desktopprovider-hit-by-ransomware/>.
- [5] „BSI – Themenpapier zu Ransomware“. https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/CyberSicherheit/Empfehlungen/Ransomware/Ransomware_node.html.
- [6] A. Aßmuth et al., "Cloud Security and Security Challenges revisited", in CLOUD COMPUTING 2019 : The Tenth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, 2018
- [7] S. Nelson, "Virtual Backup Media", in Pro Data Backup and Recovery, Apress, 2011, pp. 67–86

- [8] "GitLab's Not Alone: AWS, Google and Other Clouds Can Lose Data, Too". <https://www.channelfutures.com/cloud-2/gitlabsnot-alone-aws-google-and-other-clouds-canlose-data-too>.
- [9] "Tencent Cloud customer complains of 'catastrophic'" US1:6milliondatalossoo:
- [10] "Amazon's Cloud Crash Disaster Permanently Destroyed Many Customers' Data". <https://www.businessinsider.com/amazonlost-data-2011-4?IR=T>, 28-Apr-2011.
- [11] „Art. 32 DSGVO { Sicherheit der Verarbeitung |Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)“. <https://dsgvo-gesetz.de/art-32-dsgvo/>.
- [12] "Shared responsibility – protecting your data in a public cloud". <https://www.veeam.com/executive-blog/shared-responsibilitypublic-cloud.html>.
- [13] "Ransomware: Die verschlüsselte Stadt, die zahlte – Golem.de". <https://www.golem.de/news/ransomware-die-verschluesselte-stadt-diezahlte-1603-119563.html>.
- [14] "Static and Dynamic Analysis of WannaCry Ransomware". https://www.academia.edu/38692588/Static_and_Dynamic_Analysis_of_WannaCry_Ransomware.
- [15] S. Bhattacharya and C. R. S. Kumar, "Ransomware: The CryptoVirus subverting cloud security", in 2017 International Conference on Algorithms Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET), 2017.

Kontakt:



Fabian Süß, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

f.suess@oth-aw.de



Prof. Dr. Andreas Aßmuth

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.assmuth@oth-aw.de

5G4Healthcare – 5G als Baustein der Gesund- heitsversorgung von morgen

Zusammenfassung

Die Gesundheitsversorgung in ländlichen Räumen ist mit besonderen Herausforderungen konfrontiert, die häusliche Pflege älterer Menschen und die integrierte, sektorenübergreifende Versorgung multimorbider und chronisch kranker Patienten sehr ressourcen-intensiv machen. Fragen der Mobilität und Logistik werden dabei zu zentralen Herausforderungen der Gesundheitsversorgung. Das Potenzial innovativer Lösungen entlang der gesamten Versorgungskette zu nutzen, wird daher insbesondere in der ländlichen Versorgung künftig essenziell sein, um eine patientenorientierte Wertschöpfung im Sinne eines Value-Based-Healthcare-Ansatzes zu realisieren. Vor diesem Hintergrund ist es das übergeordnete Ziel des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Projektes 5G4Healthcare, auf Basis der 5G-Technologie eine Plattform zu etablieren, auf der digitale Anwendungen in Szenarien der ländlichen Gesundheitsversorgung integriert und eine messbare Verbesserung der Effektivität und Effizienz der Gesundheitsversorgung für Bürger und Gesundheitssystem forciert werden können. Das Projekt 5G4Healthcare zielt daher darauf ab, Machbarkeit, Möglichkeiten und Grenzen der Verbesserung der Effektivität und Effizienz in der ländlichen Gesundheitsversorgung durch die 5G-Technologie auszuloten und Handlungsempfehlungen für skalierbare Lösungen abzuleiten.

Abstract

Healthcare in rural areas faces specific challenges, which make homecare of elderly people and cross-sectoral integrated care of chronically ill and multimorbid patients very complex and costly. Mobility and logistics are among others issues that need to be solved in this context. Therefore, it will be crucial to realize the potential of innovative solutions along the complete healthcare value chain, in order to deliver patient focused healthcare according to a value-based-healthcare-approach in the future. Against this background it is the objective of the project 5G4Healthcare, which is funded by the Federal Ministry of Transport and Infrastructure, to establish a platform based on 5G technology, that enables the testing and the evaluation of digital applications in the context of rural healthcare. Consequently, the project 5G4Healthcare aims at assessing the feasibility, opportunities and limitations of 5G regarding efficiency and effectiveness improvements in rural healthcare in order to derive recommendations and scalable solutions.

Ausgangssituation Gesundheitsversorgung in ländlichen Regionen

Die Gesundheitswirtschaft ist zugleich ein Wachstumsmarkt und eine Branche unter enormem wirtschaftlichen Druck. Dieses Spannungsfeld manifestiert sich im demographischen Wandel, der damit einhergehenden steigenden Morbidität, einem Mangel an Fachkräften,

dem medizinisch-technischen Fortschritt und einem steigenden Anspruchsdenken der Bevölkerung. Unzureichende Gesundheits- und Technologiekompetenz (Digitalisierung) und verkrustete Versorgungsstrukturen verstärken dies und führen zu einer hebelartigen Wirkung. Insbesondere mit Blick auf ländliche Regionen – zu denen auch die nördliche Oberpfalz zu zählen ist – wird so eine bedarfsgerechte wohnortnahe medizinische

Versorgung zunehmend schwieriger. Räumliche Distanzen stellen nicht nur in der Akutversorgung eine Herausforderung dar, sondern machen auch die häusliche Pflege älterer Menschen und die integrierte, sektorenübergreifende Versorgung multimorbider und chronisch kranker Patienten sehr ressourcen-intensiv. Fragen der Mobilität und Logistik werden dabei zu zentralen Herausforderungen der Gesundheitsversorgung. Das Potenzial innovativer Lösungen entlang der gesamten Versorgungskette zu nutzen, wird daher insbesondere in der ländlichen Versorgung künftig essenziell sein, um eine patientenorientierte Wertschöpfung im Sinne eines Value-Based-Healthcare-Ansatzes zu realisieren. Im Gegensatz zu einer von Sektorengrenzen (ambulant – stationär) geprägten Versorgung, bei der Wertschöpfung als Summe der Einzelleistungen verstanden wird, zielt der Value-Based-Healthcare-Ansatz auf eine nahtlose und somit integrierte Versorgung ab, die sich an den tatsächlichen, individuellen Bedürfnissen des Patienten und dem erzielten, persönlichen Nutzen für seinen individuellen Gesundheitszustand bemisst. Dieses Paradigma ermöglicht aber nicht nur diesen individuellen Nutzen, sondern auch eine Verbesserung von Effizienz und Effektivität in der medizinischen Versorgung unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten.

In der nördlichen Oberpfalz wird bereits heute deutlich, dass sich die Sicherstellung der Gesundheitsversorgung im Wandel befindet. So ist beispielsweise im ambulanten Sektor die hausärztliche Versorgung im Status quo noch als gut zu bezeichnen, die Altersstrukturen der praktizierenden Hausärzte und die grundsätzliche regionale Bevölkerungsentwicklung lassen die flächendeckende Versorgung künftig aber zunehmend schwieriger werden. Zum Teil sind in einzelnen Kommunen heute bereits mehr als 40 Prozent der Hausärzte älter als 60 Jahre.[1] Die Nachbesetzung der Praxen ist dabei ungewiss. Auch im stationären Sektor ist ersichtlich, dass sich die Versorgungsstrukturen im Umbruch befinden. Im Klinikverbund der Kliniken Nordoberpfalz AG, zu dem neben dem Klinikum der Schwerpunktversorgung in der Stadt Weiden auch kleinere Standorte gehören, wurden in den vergangenen Jahren bereits Einrichtungen umgewidmet – z. B. zu Fachkliniken – und die akutstationäre Versorgung eingestellt. Dies macht deutlich, dass die Region mit typischen Herausforderungen der ländlichen Gesundheitsversorgung konfrontiert ist und angepasste Konzepte und Versorgungsmodelle notwendig sind bzw. werden, um die flächendeckende Gesundheitsversorgung aufrecht zu erhalten.

Zielsetzung des Projektes 5G4Healthcare

Vor diesem Hintergrund ist es das übergeordnete Ziel des bis Ende 2022 durch das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur geförderten Projektes 5G4Healthcare, auf Basis der 5G-Technologie eine Plattform zu etablieren, auf der digitale Anwendungen in Szenarien der ländlichen Gesundheitsversorgung integriert und eine messbare Verbesserung der Effektivität und Effizienz

der Gesundheitsversorgung für Bürger und Gesundheitssystem forciert werden können. Entlang der gesamten Versorgungskette von Prävention über Diagnostik, Therapie sowie Rehabilitation und Pflege soll in definierten Use Cases und mit einer standardisierten Vorgehensweise herausgearbeitet werden, welche mehrwertstiftenden Effekte sich durch digitale Lösungen in der ländlichen Gesundheitsversorgung realisieren lassen und insbesondere, welche Rolle die 5G-Technologie dabei spielen kann. In einem dreistufigen Ansatz aus Konzeption, Implementierung und Evaluierung wird eine 5G-basierte Forschungs- und Entwicklungsplattform als Netzwerk mit entsprechenden "Living Labs" und "Test Beds" etabliert. Zunächst sollen zwei zentrale Use Cases bearbeitet werden, die Herausforderungen der Gesundheitsversorgung im ländlichen Raum umfassend adressieren und eine mehrdimensionale Evaluation des Einsatzes von 5G ermöglichen. Damit soll zum einen ein unmittelbarer Mehrwert und Ausgangspunkt für künftige Versorgungslösungen und -strukturen in der nördlichen Oberpfalz geschaffen werden, zum anderen soll ein wichtiger Beitrag zu der 5G-Strategie des Bundes geliefert werden, in die die Förderung durch das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur einzuordnen ist. Durch die dabei beabsichtigte Erprobung von 5G-Anwendungen in Realumgebung (Living Labs) können konkrete Anforderungen, Ideen und Lösungen abgeleitet werden, die als Blaupause für eine flächendeckende 5G-Implementierung in der Gesundheitsversorgung dienen und Vorbildcharakter für ein frühzeitiges dynamisches Nachfragerwachstum entfalten können.

Use Case „Integrierte Versorgung“ und „Homecare“ als inhaltliche Schwerpunkte

In dem Use Case der Integrierten Versorgung soll unter Einbeziehung von Vertretern des ambulanten und des stationären Sektors ein konsequent Digital-Health-gestützter integrierter Versorgungsansatz im ländlichen Umfeld umgesetzt werden, welcher sowohl ambulante als auch stationäre Strukturen vorhält. Gemäß dem Hauptziel der Integrierten Versorgung, die sektoralen Grenzen im deutschen Gesundheitssystem zu überwinden, soll der Patient durch die enge Verzahnung der Versorgungsbereiche von einer qualitativ hochwertigen Versorgung profitieren. Für beteiligte Leistungserbringer bieten sich Möglichkeiten außerhalb des starren Kollektivvertragssystems mit innovativen Versorgungsmöglichkeiten und damit auch neue und zusätzliche Vergütungen und eine insgesamt effizientere Ressourcenallokation. Um dies umzusetzen, sollen technisch auf Anwendungsebene telemedizinische Verfahren zum Einsatz kommen, die zum einen eine ortsungebundene Verfügbarkeit der Patientendaten der an der Integrierten Versorgung teilnehmenden Patienten ermöglichen (Stichwort elektronische Patientenakte). Zum anderen sollen konkrete Maßnahmen der telemedizinischen Therapie und Diagnostik (Stichwort Tele-Konsil, etc.) zur Ermöglichung der ebenfalls orts-

ungebundenen Zusammenarbeit der involvierten Professionen realisiert werden. In der Endausbaustufe wird ein virtuelles Versorgungszentrum angestrebt, welches komplementär zu herkömmlichen Versorgungseinrichtungen auch bei einer weiteren Abnahme der realen Versorgungsdichte eine permanent verfügbare, hochqualitative Behandlung durch Experten ermöglichen soll. Damit soll die elektronisch gestützte Vernetzung und Zusammenarbeit von Leistungserbringern erstmals in eine regelhafte Struktur überführt werden, die im Endausbau der gesundheitlichen und pflegerischen Versorgung der Bevölkerung zur Verfügung steht.

Auch in dem zweiten Use Case Homecare soll ein konsequent Digital-Health-gestützter Ansatz umgesetzt werden, der explizit die häusliche Pflege im ländlichen Umfeld adressiert. Die besonderen Herausforderungen liegen hier in der äußerst dezentralen Infrastruktur und der flächendeckenden Versorgung. Sowohl der Arzt als auch Pflegedienste und Angehörige von Patienten legen zwischen ihrem Standort, dem Patienten und weiteren Akteuren wie Apotheken oder Sanitätshäusern beträchtliche Wegstrecken zurück. Nicht selten sind Arzneimittel nicht vorrätig, sie werden von der Apotheke bestellt und zu einem späteren Zeitpunkt per Boten ausgeliefert. Auch Hilfsmittel werden auf Grund ihrer Größe oftmals erst zu einem späteren Zeitpunkt vom Sanitätshaus ausgeliefert. Da pflegende Angehörige gerade im ländlichen Raum auch nicht ständig vor Ort beim Patienten sind, kann es zudem vorkommen, dass der Pflegedienst zunächst nichts über die Neumedikation/Änderung der Medikation erfährt. Dies kann zu falscher Medikamentenverabreichung mit dramatischen Folgen führen. Durch mangelnde Kommunikation Arzt – Patient – Apotheke – Sanitätshaus – Pflegedienst – Krankenkasse ist die derzeitige Versorgung häuslich gepflegter Patienten im ländlichen Raum komplex, aufwändig und mit vielen Fehlerquellen behaftet.

Auf der Anwendungsebene sollen deshalb Lösungen zum Einsatz kommen, die in erster Linie zur Optimierung der gesamten Logistik um den häuslich gepflegten Patienten beitragen. Neben der Informationslogistik und der eigentlichen Patientenlogistik (z. B. Organisation von Krankentransporten) geht es hierbei vor dem beschriebenen Hintergrund – inhaltlich und prozessual – v. a. um die schnelle und fehlerfreie Koordination der Versorgung mit Arzneimitteln, Sterilgut, Sanitätshausartikeln, etc. Durch die Vernetzung der Akteure in der ländlichen, häuslichen Pflege rund um einen Patienten soll eine Entlastung bei allen Beteiligten erreicht werden, um eine höhere Versorgungsgüte und wirtschaftliche Optimierungen bei den Leistungserbringern zu erreichen. Damit soll sekundär eine längere Versorgung im häuslichen Umfeld erreicht werden. Ergänzt werden soll die Infrastruktur für die involvierten Akteure durch den Einsatz von Assistenzlösungen und "smart Devices" für ein selbstbestimmtes Leben im Alltag (AAL) sowie Automatisierungslösungen in der

Pflege der Patienten. Hierbei unterstützen insbesondere digitale Methoden, Konzepte technische Lösungen und Dienstleistungen das Leben von alten und behinderten Menschen im häuslichen Kontext.

5G als Katalysator der Digitalisierung im Gesundheitswesen

Bereits Ende 2020 soll in Deutschland mit 5G ein neuer Mobilfunkstandard eingeführt werden. Der neue Standard gilt als Wegbereiter für das Netz der Dinge (Internet of Things, IoT) und damit Milliarden von vernetzten Endgeräten. Gerade im ländlichen Raum, wie der nördlichen Oberpfalz, ist der Ausbau dieses Gigabitnetzes kein Selbstzweck, sondern wegweisend für wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung im 21. Jahrhundert. In vielen Industrien ist 5G die Voraussetzung für neue Geschäftsmodelle wie Predictive Maintenance oder IoT-Plattformen, über die Maschinen entlang industrieller Prozesse vollautomatisiert Daten miteinander austauschen. Autonomes und vernetztes Fahren, Logistikprozesse und das Management von Energienetzen sind nur einige weitere Anwendungsfälle, in denen 5G zur Schlüsseltechnologie werden kann. Dabei wird es 5G ermöglichen, die kontinuierlich steigenden Anforderungen digitaler Anwendungen an Kapazität, Bandbreite, Verfügbarkeit und Latenz zu erfüllen, die je nach Anwendungsfall unterschiedlich priorisiert sind. So lassen sich im Wesentlichen drei Anwendungsgruppen unterscheiden, in denen 5G zum Einsatz kommen kann:

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB): Hochbitratige Anwendungen wie ultrahocho aufgelöstes Videostreaming sind bei vielen Nutzern in einer Zelle auf hohe Bandbreiten pro Nutzer und hohe Kapazitäten in einer Zelle angewiesen.
- Massive Machine Type Communication (mMTC): Durch die Vernetzung von Alltagsgegenständen wird das Internet der Dinge Realität. Die dadurch mögliche Kommunikation mit Steuerungszentralen stellt hohe Anforderungen an die Netzkapazität für das Management mehrerer hunderttausend angemeldeter Geräte pro Zelle.
- Ultra-Reliable and Low-Latency Communication (URLLC): Sicherheitskritische Anwendungen, z. B. aus der medizinischen Versorgung, sind auf höchste Verbindungsqualität, Verfügbarkeit und Störfestigkeit (Quality of Service) angewiesen. Zudem benötigen sie taktile Netze, die missionskritische Daten in Echtzeit übertragen.

Vereinfacht lassen sich die Anwendungsszenarien hinsichtlich der inhaltlichen Anforderungen also in die Fälle „viele Nutzer“, „große Datenmengen“ und „geringe Latenz“ zusammenfassen. Diese Anwendungsfälle stellen einzeln oder in Kombination gerade auch im Gesundheitswesen elementare Szenarien dar, um künftig explizit die Versorgungssicherheit der Bevölkerung in ländlichen Gebieten zu gewährleisten.

Ein Großteil der Digital-Health-Anwendungen kann sein volles Potenzial erst in einem 5G-Netz entfalten. Zu diesen Digital-Health-Anwendungen und Lösungen gehören beispielsweise roboterunterstützte Operationen, die Fernüberwachung und -analyse der Vitalfunktionen von Patienten und videobasierte Arztprechstunden. So darf es etwa bei einer robotergestützten Operation keine langen Verzögerungen (Anwendungsfall „geringe Latenz“) zwischen dem Steuerungsimpuls des Arztes und der Reaktion des OP-Roboters geben. Die Daten von Kameras und Sensoren müssen mit höchster Zuverlässigkeit übertragen werden. 5G kann hier mit seiner äußerst geringen Latenzzeit und seiner extrem hohen Zuverlässigkeit punkten. In Zukunft kann das sogar die Durchführung oder Unterstützung von Operationen durch Spezialisten ermöglichen, die Hunderte von Kilometern entfernt sitzen. Bei der Fernüberwachung medizinischer Parameter von Patienten kommt es darauf an, dass Sensoren nicht nur stabil arbeiten, sondern auch möglichst langlebig sind und wenig Energie verbrauchen. Schließlich kann es sich hier auch um Sensoren handeln, die in Körperimplantaten wie etwa Herzschrittmachern sitzen und erst nach einem Zeitraum von vielen Jahren ausgetauscht werden. 5G-Chips mit langen Batterielaufzeiten bieten dafür eine maßgeschneiderte Lösung, z. B. für ein Langzeit-Monitoring chronisch kranker Patienten. Schließlich profitieren mobile Digital-Health-Anwendungen von der Fähigkeit von 5G, stabile Verbindungen auch bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten der Nutzer zu garantieren. So können Rettungsassistenten aus einem digitalisierten Krankenwagen über 5G ohne Verzögerung Vital- und Videodaten ihres Patienten ins Krankenhaus funken und sich von dort Rat von Spezialisten einholen. Ein Vorzug von 5G, der insbesondere in ländlichen Gegenden, wo der Weg ins Krankenhaus oder in eine Spezialklinik weit ist, Leben retten kann. Insbesondere der Vorzug der schnellen Übertragbarkeit großer Datenmengen bei 5G kommt in diesem telemedizinischen Kontext hinzu, wenn es um die Transferierbarkeit von medizinischer Bilddaten, z. B. in Form von Videodaten, MRT- oder CT-Bildern, geht. Hohe Übertragungsraten, z. T. in Echtzeit, sind hier im Ernstfall unmittelbar mit schnellerer und damit effektiverer Behandlung des Patienten gleichzusetzen. Dies gilt auch bei dem

ortunabhängigen Einsatz von Anwendungen mit künstlicher Intelligenz oder AR- und VR-Anwendungen, die weitere mehrwertstiftende Szenarien des 5G-Einsatzes in der (ländlichen) Gesundheitsversorgung darstellen können.

Um die Möglichkeiten und Grenzen von 5G im Kontext der Use Cases des Projektes 5G4Healthcare zu erproben und zu bewerten, ist die Bearbeitung der beiden Use Cases des Projektes in zeitlicher Hinsicht in drei Phasen aufgeteilt worden, d. h. in entsprechender Abfolge in Konzeption, Implementierung und Evaluierung. Grundsätzlich ist es dabei das Ziel, in den beiden Use Cases „Integrierte Versorgung“ und „Homecare“ den Einsatz von 5G aus unterschiedlichen Perspektiven – technisch, (gesundheits-)ökonomisch, gesellschaftlich, etc. – zu konzipieren, zu erproben und zu evaluieren. Konkret soll dies in den Use Cases jeweils in unterschiedlichen Szenarien erfolgen, die im ersten Schritt der Konzeptionsphase des Projektes mit einem entsprechenden Satz an Methoden und Werkzeugen definiert, modelliert, priorisiert und ausgewählt werden. Hierzu werden die Szenarien zuerst in einem Test Bed auf dem Gelände der OTH Amberg-Weiden am Standort Weiden erstellt und einer ausführlichen Ist-Analyse unterzogen, auf deren Basis jeweils ein intendiertes Soll-Konzept modelliert werden wird. In der zweiten Phase, der Implementierung, wird anschließend die Erprobung der Szenarien in einer Realumgebung erfolgen. Hierfür sind sogenannte Living Labs an insgesamt vier lokalen Standorten in Versorgungseinrichtungen – Standorte des Kooperationspartners der Kliniken Nordoberpfalz AG – vorgesehen, die mit unterschiedlichen Schwerpunkten in den beiden Use Cases „Integrierte Versorgung“ und „Homecare“ involviert sind. Die Szenarien in den Living Labs werden letztlich aus verschiedenen Perspektiven bearbeitet. Hierzu können u. a. gesundheitsökonomische Effekte, die bereits genannte technische Abwägung zwischen 4G und 5G, datenschutzrechtliche Aspekte, Fragestellungen der Logistik, Themen der IT-Sicherheit oder ethische Gesichtspunkte zählen.

Insgesamt lässt sich die Bearbeitung der Szenarien der Use Cases in den Living Labs vor Ort wie folgt darstellen:

Use Case	Integrierte Versorgung		Homecare	
	_ Digital-Health-gestützter integrierter Versorgungsansatz im ländlichen Umfeld		_ Optimierung von häuslicher Pflege im ländlichen Umfeld durch Digital-Health	
Living Labs	Eschenbach	Neustadt	Weiden	Vohenstrauß
	Szenario 1-n (Workflow, Rollen, Technik, etc.)	Szenario 1-n (Workflow, Rollen, Technik, etc.)	Szenario 1-n (Workflow, Rollen, Technik, etc.)	Szenario 1-n (Workflow, Rollen, Technik, etc.)
Workstreams	Sozioökonomik		Healthcare Logistics	
	Recht & Regulatorik (u. a. Datenschutz)		Akzeptanz	4G vs. 5G
	Ethik		(Gesundheits-)Ökonomische Evaluation	
	IT Sicherheit			

Der mehrstufige Ansatz zeigt, dass es in dem Projekt 5G4Healthcare nicht um den pauschalen Einsatz von 5G-Technologie im Sinne eines Ersatzes von 4G oder WLAN geht, sondern vielmehr um die Ableitung eines jeweils auf das Szenario bezogene Setting an Kontextfaktoren, um den maximalen Mehrwert von 5G in Anwendungsfällen der Gesundheitsversorgung abzuleiten – hinsichtlich Effektivität als auch Effizienz der Technologie.

Handlungsempfehlungen und dauerhafte Nutzung der Plattform

Die Bearbeitung der Use Cases mit den entsprechenden Szenarien zeichnet sich durch einen hohen Anwendungsbezug aus. Zwischen der Identifikation der zu bearbeitenden Szenarien, der mehrdimensionalen Bearbeitung und Evaluierung sowie den tatsächlich vor Ort existierenden und für ländliche Räume typischen Herausforderungen der Gesundheitsversorgung besteht ein enger Zusam-

menhang. Die Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Einsatz von 5G und die grundsätzliche Digitalisierung im Gesundheitswesen sowie die Schaffung der notwendigen Rahmenbedingungen ist das erklärte Ziel des Projektes. Durch die Etablierung der hierfür nötigen Infrastruktur werden nachhaltig die Voraussetzungen einer anwendungsorientierten Forschung und eines Prozesses der Translation im Bereich der digitalen Gesundheitswirtschaft geschaffen. Es wird daher beabsichtigt, auch über die geplante Projektlaufzeit hinaus die Strukturen des Test Beds und der Living Labs fortzuführen und somit eine dauerhafte Plattform für die Erprobung und Entwicklung digitaler Anwendungen im Gesundheitswesen innerhalb einer 5G-Infrastruktur zu bieten. Hierdurch können zum einen die flächendeckende Digitalisierung in der Gesundheitsversorgung forciert, innovative Lösungen erprobt, neue Versorgungsprozesse und -modelle etabliert werden und insgesamt eine Blaupause für eine zukunftsorientierte Gesundheitsversorgung im ländlichen Raum geschaffen werden.

Referenzen:

- [1] Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung (2018), Analyse der Versorgung mit Einrichtungen und Dienstleistungsangeboten der sozialen Infrastruktur in der Planungsregion Oberpfalz-Nord
- [2] BMVI (2017), 5G-Strategie für Deutschland

Fördergeber:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Kontakt:



Prof. Dr. rer. pol. Steffen Hamm

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Professur für Gesundheitswirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

s.hamm@oth-aw.de



Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Dekan
Leitung Institut für Medizintechnik (IfMZ),
Studiengangsleiter und Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

Benedikt Etzold, M.Sc.
Sebastian Zach, M.Sc.
Tristan Schönfelder, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

PROFINET over TSN – Entwicklung und Zerti- fizierungsmöglich- keiten von zeitkri- tischer Kommu- nikation

Einführung – Zertifizierung von PROFINET-Komponenten

Bei PROFINET handelt es sich um einen führenden, echtzeitfähigen Industrial Ethernet Standard für die Automatisierung. Er basiert mit Ethernet auf derselben Technologie, die bereits seit Jahrzehnten in der überwiegenden Zahl kommerzieller und nichtkommerzieller Internettologien zum Einsatz kommt und aus diesem Grund von vielen Geräteherstellern unterstützt wird. Um die stetig wachsenden Anforderungen an moderne, industrielle Applikationen erfüllen zu können, ist der offene PROFINET-Standard ständig Gegenstand von Bestrebungen zur Erweiterung und Weiterentwicklung.

Zur Gewährleistung der Interoperabilität von Geräten verschiedener Hersteller existiert ein umfangreiches Zertifizierungsprogramm, das von der PI (PROFIBUS & PROFINET International) betreut wird. Jedes PROFINET-Gerät muss von einem akkreditiertem Testlab erfolgreich geprüft werden, bevor der Hersteller das entsprechende Zertifikat bei der PI erwerben kann. Ein solcher Prüfvorgang besteht aus einer Abfolge genau definierter Testfälle, in denen verschiedenen Funktionen des Geräts untersucht werden. Ein offizielles PROFINET-Zertifikat garantiert damit eine absolute Kompatibilität zu anderen PROFINET-Produkten.

Die Testfälle werden mithilfe einer speziellen Software namens *Automated RT-Tester* durchgeführt. Aktuell decken sie etwa 80% der PROFINET Basisspezifikation ab. Diese Software wird an der OTH Amberg-Weiden am Standort Amberg von der Arbeitsgruppe AUT mit Unterstützung des aia – automations institut amberg entwickelt. Aufgrund des intensiven Austauschs mit zahlreichen Industriepartnern wie Siemens, Phoenix usw. ist es möglich jederzeit agil auf neue Anforderungen der Entwicklungs- und Zertifizierungspraxis reagieren zu können. Die OTH Amberg-Weiden trägt damit maßgeblich zur weltweiten Qualitätssicherung und Zertifizierung industrieller Kommunikationstechnologien bei.

Abstract

PROFINET is one of the leading real-time Industrial Ethernet standards for automation. It is based on Ethernet, the same technology that has been established for the past decades in most commercial and non-commercial data networks. Therefore, it has been covered by most device manufacturers. PROFINET is constantly being extended and developed to meet the increasing demands of modern industrial applications.

There is a comprehensive certification system to ensure the interoperability of devices from different manufacturers; it is supervised by PI (PROFIBUS & PROFINET International). All PROFINET devices have to be tested successfully in an accredited PI Test Laboratory to obtain the corresponding certificates. Such a test process is a sequence of specified test cases, each of which designed to analyze different aspects of the functional capacity of the device in detail. Thus, a PROFINET certificate can guarantee full compatibility with other PROFINET products.

The test cases, which focus on analyzing the devices in terms of interoperability and real-time communications, are executed with a dedicated software called *Automated RT-Tester*. It currently covers roughly 80% of the PROFINET base specification. The working group AUT (OTH cluster ILIAS3) develops and maintains this piece of software at OTH's laboratories in Amberg with support of aia - automations institute amberg. The underlying working model incorporates close contact with numerous industry partners as Siemens, Phoenix or Bosch Rexroth. Thus, changing or newly rising requirements that emerge in development or certification can be handled in quick and agile manner. With this project, the OTH Amberg-Weiden plays an important role in worldwide quality and certification processes for industrial communication standards.

Erweiterungen des Testfelds und andere Herausforderungen

Das PROFINET zugrundeliegende Gerätemodell basiert auf einer Teilung der Kommunikationsteilnehmer in passive Devices und aktive Controller, die je nach Szenario abwechselnd die Rollen von Provider und Consumer einnehmen. In den ersten Jahren des Projekts lag der Fokus zunächst auf der Zertifizierung der PROFINET Devices in einer ständig wachsenden Anzahl von Testfällen. Grundlage hierfür waren eine quasi vollständige Implementierung der meisten PROFINET Services sowie der entsprechenden Basisfunktionalitäten. Mittlerweile hat die Testabdeckung des Standards für Devices einen Wert von ~80% erreicht.

Auf Basis der Erfahrungen aus der erfolgreichen Zusammenarbeit in der Device-Zertifizierung erfolgte im vergangenen Jahr die Erweiterung für den Einsatz in der Zertifizierung von PROFINET Controllern. Die aktive Rolle von Controllern im Gerätemodell machte dabei eine Vielzahl von Erweiterungen der bisherigen Teststrategie notwendig. Wo die Testsoftware bislang als aktive Komponente die Ausführung der verschiedenen Testschritte auf den Devices veranlassen konnte, muss sie hier als passive Komponente fungieren, um mit den aktiven Controllern kommunizieren zu können.

Aus diesem Grund wurde von der Arbeitsgruppe AUT ein eigenes Protokoll, das TFPC (Test Flow Protocol for Controller), entwickelt. Zusammen mit einer speziellen Programmierung der Prüflinge ermöglicht es die Parametrierung und Ablaufsteuerung durch den *Automated RT-Tester*.

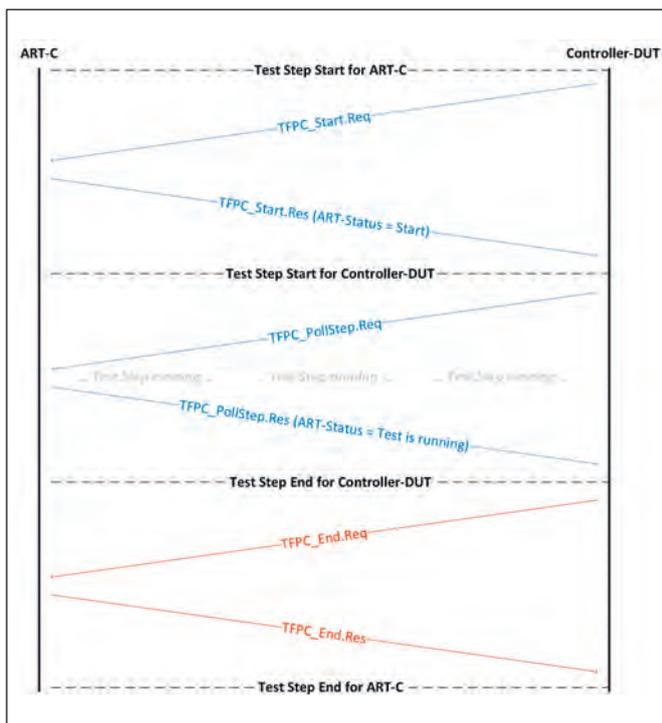


Abbildung 1: Vereinfachtes Diagramm der Ablaufsteuerung mittels TFPC

Mit der CDML (Controller Description Markup Language) wurde außerdem ein controllerseitiges Pendant zur in PROFINET etablierten GSDML (Generic Station Description Markup Language) in den Zertifizierungskontext eingeführt. Die Hersteller der Controller nutzen diese Dateien, um Aufbau und Kapazitäten ihrer Produkte in einem normierten Format für die Nutzung im Testsystem zu beschreiben.

Die Implementierung der ersten dedizierten Controller-Testcases ist nun ebenfalls abgeschlossen. Neben dem Einsatz in den Regressionstestverfahren der verschiedenen Hersteller ist es seit dem Release des aktuellen Zertifizierungsbundles im Juni 2019 außerdem möglich, den *Automated RT-Tester* auch zur offiziellen Zertifizierung von Controllern einzusetzen.

TSN im Zusammenspiel mit den anderen Netzwerkschichten

Mit der fortschreitenden Realisierung von Industrie-4.0-Szenarien ändern sich auch die Anforderungen an die Netzwerke in Fabriken und Produktionsstätten. Die zunehmende Digitalisierung der industriellen Prozesse und das branchenbedingte Bedürfnis nach Investitions- und Zukunftssicherheit verlangt dabei nach Kommunikationsprotokollen, die von allen gängigen Hard- und Softwareherstellern unterstützt werden. Gleichzeitig gewinnen technische Anforderungen wie Ausfallsicherheit, Echtzeitfähigkeit oder Taktsynchronität weiter an Bedeutung. Industrieprotokolle wie PROFINET reagieren auf diese Entwicklung unter anderem mit Adaptionen ihres Protokollstacks. Wo auf Layer 2 bislang proprietäre Lösungen wie IRT (Isochronous Real-Time) zum Einsatz kamen, wird künftig auch auf TSN zurückgegriffen werden können.

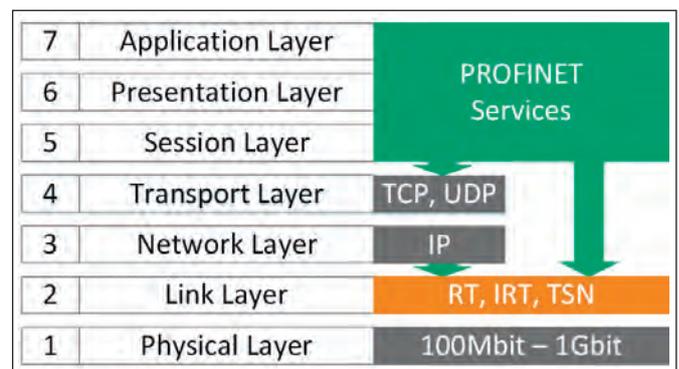


Abbildung 2: PROFINET und TSN im Protokollstack des ISO/OSI-Modells

TSN (Time Sensitive Networking) bezeichnet eine Sammlung verschiedener Kommunikationsstandards auf dem Link Layer, die nun durch die IEEE standardisiert und von einer Vielzahl von Herstellern mitgetragen wird. Damit besteht berechtigter Grund zu der Annahme, dass sich TSN in den kommenden Jahren stark verbreiten und proprietäre Lösungen nach und nach verdrängen wird.

Für den *Automated RT-Tester* bedeutet diese neue Strategie eine Reihe an tiefgreifenden Änderungen: Neue Testfälle müssen spezifiziert und implementiert werden, um die korrekte Umsetzung verschiedener TSN-Features im Zertifikationsprozess sicherstellen zu können. Die gestiegenen Anforderungen gerade im Bereich der takt-synchronen Kommunikation bedeuten auf lange Sicht zwangsläufig die Abkehr von den bis dato etablierten Standard-Testsetups. In enger Zusammenarbeit mit der Firma Siemens wurde daher ein neues Testsetup entworfen, das es zulässt, zeitkritische Prozesse auf eine externe Hardwarekomponente auszulagern.

Anforderungen an das Testsystem

Beim Testsetup des *Automated RT-Testers* ist die Testumgebung genauestens definiert. Dadurch wird die volle Reproduzierbarkeit der Testergebnisse gewährleistet, was die Betreuung bei möglichen Problemen oder auch die Weiterentwicklung des Testers erheblich erleichtert. Die Testumgebung eines Standard 2-Port-Gerätes ist nachfolgend in Abbildung 3 dargestellt.

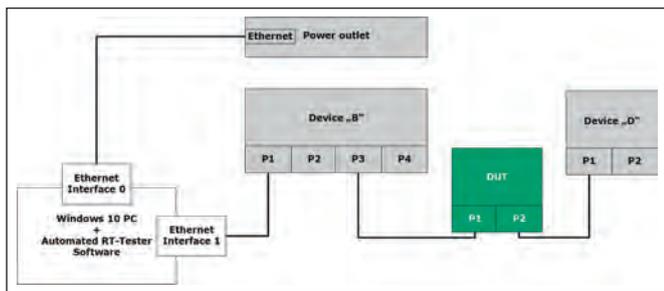


Abbildung 3: PROFINET Standard Test Setup

Das Standard-Testsetup setzt sich aus mehreren definierten Nachbargeräten für das DUT (Device Under Test) sowie einer über Ethernet gesteuerten Steckdosenleiste zusammen. Der *Automated RT-Tester* ist somit in der Lage, einzelne Geräte je nach Testfall ein- bzw. auszuschalten. Weiterhin ermöglicht diese Peripherie beispielsweise die Überprüfung von Topologie-Informationen via LLDP-Paketen. Aufgrund dieses Aufbaus ist es möglich, den Testablauf vollautomatisch durchzuführen. Nach dem Testdurchlauf stehen dem Testingenieur detaillierte Reports und umfangreiche Aufzeichnungen des Netzverkehrs zur Analyse der Ergebnisse und eventuell aufgetretener Fehler zur Verfügung.

Um die gesteigerten Ansprüche von TSN zu erfüllen, ist dieses Testsetup nicht mehr ausreichend. Mit einem Standard PC und einer Windows10-Installation können die zeitkritischen Anforderungen von TSN nicht mehr garantiert werden. Für TSN wurde darum ein dediziertes Board in das Testsetup eingefügt.

Dieses ETS (Embedded Test System) und das dazu gehörende Betriebssystem werden von Texas Instruments eigens für TSN entwickelt.



Abbildung 4: Embedded Test System

Für das neue Testsetup werden der bestehenden Testrechner mit dem ART und das neue ETS-Board über Ethernet verbunden. Die Kommunikation zwischen ART und ETS-Board findet über gRPC statt. Dadurch ist es möglich, eine einfache und klar definierte API zu schaffen. Das DUT wird (wie in Abbildung 5 zu sehen) direkt an das ETS-Board angeschlossen; alle weitere Peripherie fällt weg.

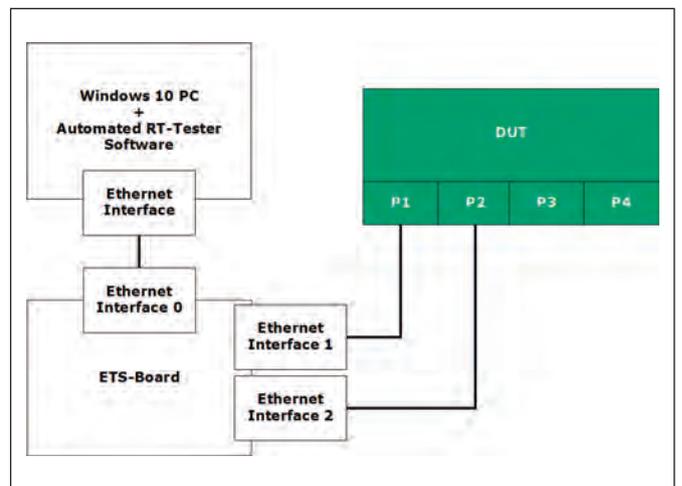


Abbildung 5: PROFINET Testsetup für TSN

Erweiterung des *Automated RT-Tester-Frameworks*

Um einen fließenden Übergang zwischen RT und TSN Tests zu gewährleisten, wurde der ART um weitere Module erweitert. Durch diese Erweiterung können die alten Testcases weiter mit dem Standard-Testsetup ausgeführt werden, während neue Testcases für das ETS-Board entwickelt werden. Eine komplett neue Testumgebung (Test Execution Controller kurz TEC) wurde für die TSN Tests entwickelt. Die Integration des neuen ETS-Boards macht es außerdem erforderlich, die Schnittstelle für die Kommunikation komplett zu überarbeiten und als ein neues Modul zu integrieren. Der Aufbau des ART mit ETS ist in Abbildung 6 dargestellt, die Erweiterungen für TSN sind farbig hinterlegt.

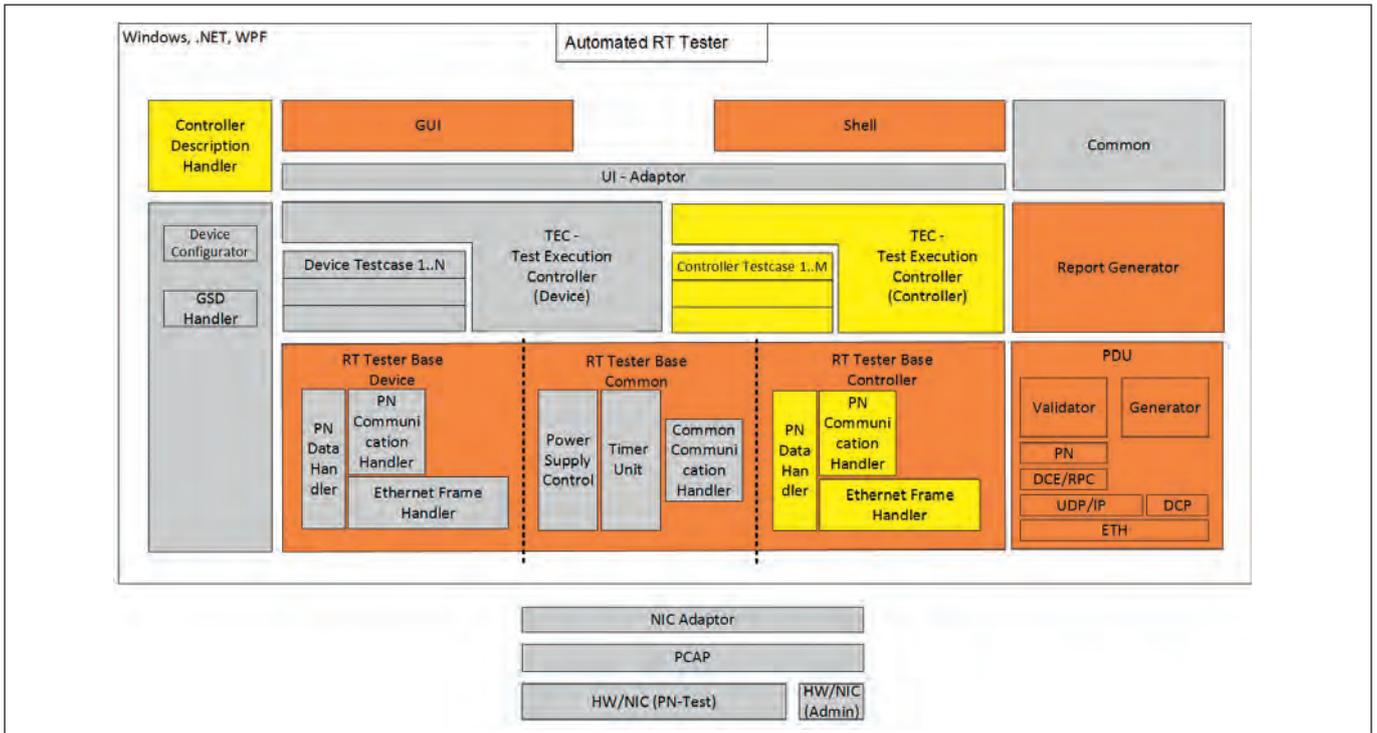


Abbildung 6: Erweiterte Softwarearchitektur des Automated RT-Testers für TSN-Funktionalität

Weltweite Sichtbarkeit

Neben der beschriebenen Zusammenarbeit mit den Geräteherstellern im Arbeitsalltag stehen die Mitglieder der Arbeitsgruppe AUT auch im engen Austausch mit den verschiedenen Testlaboren der PT (PITLs); weiter sind sie weltweit in Spezifizierungsgremien, auf Konferenzen und Fachmessen vertreten und präsentieren den *Automated RT-Tester* und seine Verwendung in Workshops, Schulungen und anderen Informationsveranstaltungen. Einsatzorte waren in der jüngeren Vergangenheit u. a. Frankfurt am Main, Mainz, Hannover, Nürnberg, Prag, Innsbruck, Den Haag und Peking.

PROFINET-Einsatzszenarien in der Praxis

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes für die Firma MSF Vathauer wurde eine bestehende Frequenzumrichter-Plattform, die bereits verschiedene industrielle Kommunikationssysteme unterstützt, um eine PROFINET-basierte Ansteuerung erweitert.

Die Anbindung an das PROFINET-Netzwerk wurde mithilfe eines Application Specific Integrated Circuit (ASIC), dem TPS-1 von Phoenix Contact, realisiert. Dieser ASIC wird über eine SPI-Schnittstelle von einem Mikrocontroller konfiguriert und parametrieret. Über diesen Mikrocontroller wird ebenfalls der Frequenzumrichter selbst angesteuert.

Um ein spezifikationskonformes Verhalten des Frequenzumrichters zu gewährleisten, wurde der ART mit seinen automatisierten Tests entwicklungsbegleitend

eingesetzt. Dies führte zur einer sofortigen Rückmeldung im Fall protokollspezifischer Fehler. Weiterhin war es hiermit möglich, umfangreichere und genauere Tests durchzuführen, als es beispielsweise mit Standardcontrollern realisierbar wäre. Durch die Möglichkeit, im *Automated RT-Tester* benutzerdefinierte Testfälle zu erstellen, konnten außerdem eigene Testschritte implementiert werden, um neu hinzugefügte Features spezifisch zu testen.

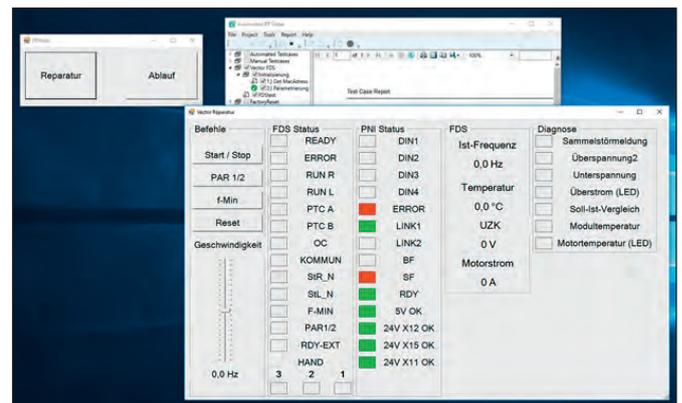


Abbildung 7: Benutzerdefinierte Oberfläche für die Inbetriebnahme des Frequenzumrichters

Weiterhin kann so im *Automated RT-Tester* eine eigene Oberfläche entworfen werden, um erste Inbetriebnahme-Szenarien durchzuführen (siehe Abbildung 7). Das abgebildete Interface dient der Inbetriebnahme-Prüfung nach der Fertigung. Es ermöglicht die frühzeitige Detektion von Fehlern noch vor Auslieferung an den Kunden.

Kontakt:



Benedikt Etzold, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

b.etzold@oth-aw.de



Sebastian Zach, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

s.zach@oth-aw.de



Tristan Schönfelder, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

t.schoenfelder@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

hp.schmidt@oth-aw.de




**ELEKTROTECH
ENGINEERING**
**AUTOMATION
ROBOTIK**
**ENERGIE-
TECHNIK**
**INFORMATIK +
SYSTEME**

FEE bietet in den Bereichen **Elektrotechnik, Maschinenbau und Informatik** die Möglichkeit, in Form von **Praktika, Bachelor-/Masterarbeiten** oder auch einer **Festanstellung** Ideen Wirklichkeit werden zu lassen. Weitere Infos und aktuelle Jobangebote unter



www.fee.de/jobs

FEE-Unternehmensgruppe
In der Seugn 20 | 92431 Neunburg v. W.
Telefon: +49 (0) 9672 506-0 | www.fee.de

BAYERN'S BEST 50
PREISTRÄGER




Verein der Amberger Freunde der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden



Seit 1995 unterstützt der Verein die Entwicklung der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden durch ideelle und finanzielle Beiträge, die durch das Budget nicht abgedeckt sind. Für Prämien besonderer Leistungen der Studierenden, für Zuschüsse bei Forschungsprojekten, für die Realisierung des Technologiecampus.

Mit Ihrem Beitritt als Unternehmen oder Privatperson leisten Sie einen wichtigen Beitrag zur regionalen Stärkung des Standortfaktors Bildung und Ausbildung.

Besuchen Sie unsere Homepage über
www.oth-aw.de/forschen-und-kooperieren/partner-netzwerke

Sie wollen Mitglied werden? Kontaktieren Sie uns.

Dipl.-Ing. (FH) Franz Mende, 1. Vorsitzender
Briefadresse: Siemens AG
Leiter Gerätewerk Amberg
Werner-von-Siemens-Straße 48
92224 Amberg

Telefon +49 (172) 2659863
Sekretariat +49 (172) 1591724
E-Mail: freunde.oth-amberg@oth-aw.de



Förderverein der OTH Weiden e. V.

Wir sind ein Zusammenschluss von Bürgerinnen und Bürgern, Institutionen, Unternehmen und Körperschaften in der Oberpfalz.

Die OTH wird von uns in jenen Bereichen unterstützt, in denen öffentliche Mittel nicht zur Verfügung stehen oder verstärkt werden müssen.

Wir sind gemeinnützig und haben folgende wesentliche Ziele:

- Ideelle und materielle Unterstützung der OTH
- Förderung des OTH-Bildungsauftrages
- Ausbau enger Bindungen zwischen Hochschule und Wirtschaft

Wir freuen uns über Ihren Beitritt!

Dipl.-Kfm. Günther Kamm
1. Vorsitzender
Förderverein der OTH Weiden e.V.
c/o Stadtbau GmbH Weiden
Am Stockerhutpark 1, 92637 Weiden
www.foerderverein-oth-weiden.de







WOLO

aus Training Spaß wird!

www.weidener-thermenwelt.de
[f/freizeitzentrum.weiden](https://www.facebook.com/freizeitzentrum.weiden)

Zusammenfassung

Die immer weiter zunehmende Vernetzung innerhalb der Industrie 4.0 stellt besondere Herausforderungen an die Übertragungskanäle. Bestehende Datenübertragungsstrukturen müssen für höhere Übertragungsraten in einigen Anwendungen genutzt werden. Ebenso erfordern einige neue Installationen eine kostengünstige Verkabelung mit nicht idealen Übertragungseigenschaften. Dies ermöglicht die wirtschaftliche Machbarkeit der industriellen Internet-of-Things Vernetzung einfacher Sensoren und Aktoren. Um hohe Datenraten sowie eine stabile Übertragung zu gewährleisten, müssen spezielle physikalische Schichttechnologien eingesetzt werden. Sie müssen für die jeweilige Anwendung eine robuste Übertragung gewährleisten. Um die Eignung zu untersuchen, stellen wir unsere Plattform für die anwendungsspezifischen Physical-Layer-Analysen vor.

Abstract

The ever-increasing communication within industry 4.0 poses special challenges with regard to transmission channels. Existing data transmission structures have to be used for higher transmission rates in some application. Likewise, some new installation require cost-effective cabling with non-ideal transmission characteristics. This enables economical feasibility of Industrial Internet of Things networking of simple sensors and actors. To guarantee high data rates as well as stable transmission, special physical layer technologies have to be used. They have to ensure robust transmission for the respective application. To investigate the suitability we introduce our platform for application specific Physical-Layer analysis.

1 Introduction

Especially in factory automation, Industrial Ethernet is becoming the most important transmission technology. Such technologies as PROFINET and EthernetIP are well established. They already represent a combined market share of 27 % of all industrial Networks [1]. Current developments of Ethernet physical layers are not only oriented towards higher data rates but also towards more robustness [2] or low cost cabling used in multi-drop standards, e.g., in [3]. Overall cost reduction is required in industrial automation as well as in other fields of engineering where Ethernet is upcoming, e.g., the automotive in-vehicle-communication. Not only the above-mentioned established Industrial Ethernet variants may utilize these new technologies, but future communication systems such OPC UA TSN with field level communication (FLC).

Especially in the automotive-in-vehicle communications, Physical-Layer technologies with reduced twisted pair cabling are already available (100BASE-T1). Special solution for multidrop like 10BASE-T1S [3] is underway. Such cabling is much more economical and easier to install than standard Industrial Ethernet cabling.

For any application in industrial communication systems the question arises whether or not it may be used. Furthermore, limits and restriction have to be evaluated. Additionally, other installed networks such as AS-I Bus cables [4] in industrial power plants might be used for tunneling Industrial Ethernet applications. In some harsh operating environments Physical Layer technologies known from power-line communications, e.g., OFDM in Homeplug GreenPHY [5] might lead to satisfactory results in transmissions over poor channels. Anyway, transmission quality, i.e. Quality of Service has to be investigated, demonstrated and verified by measurements for such innovative application.

To investigate the suitability of a certain Physical Layer we propose a platform for analysis to investigate physical layer technologies. With this platform special physical layer technologies, e.g., powerline OFDM could be analyzed for special transmission channels and special applications. Proprietary physical layer technologies such as those described in [6] can also be developed and tested directly in a real network using real-time Ethernet protocols such as PROFINET.

2 State of the art and problem statement

2.1 Previous network design

When designing an industrial network, the physical layer and the protocol are considered separately. Typical Industrial Ethernet standards like PROFINET and EthernetIP define the protocol in the first place and make use of different physical layers that are given in IEEE 802.3 [7]. The user selects the physical layer that fits best its application at lowest costs, e.g., 100BASE-TX or 100BASE-FX for PROFINET [8]. Taking a look at PROFINET, a cabling guideline exists in addition to the protocol specification. It covers basic cable specifications, depending on the used physical layer. It also defines parameters for the industrial usage, e.g., flexibility for occasional movement or vibration [9]. Also maximum length, cable quality and cost is fixed. This ensures the industrial grade communication for any of these Physical Layers and cabling regardless of the actual installation. No installation specific consideration is needed for the Physical Layer.

Unfortunately, physical layers as reduced twisted pair are not considered by such guidelines today. For these channels criteria and key figures are needed to determine whether or not such physical channels may be used.

2.2 Key figures used nowadays

Transmission channels are primarily defined by their bandwidth. Within the maximum allowed cable length additional parameters, e.g., attenuation, cross talk are considered. From the point of view of information theory, the signal to noise ratio (SNR) and the resulting bit error rate (BER) exist for the complete characterization of the channel. All physical parameters have an influence on the SNR which in turn influences BER [10]. Therefore BER is used as the key figure to characterize the behavior.

3 Proposed solution

3.1 Signal investigation

To determine key figures for certain physical layer technologies for certain applications, it is necessary to investigate and manipulate them in detail to unveil limiting factors. In principle, the following platform is developed for this purpose:

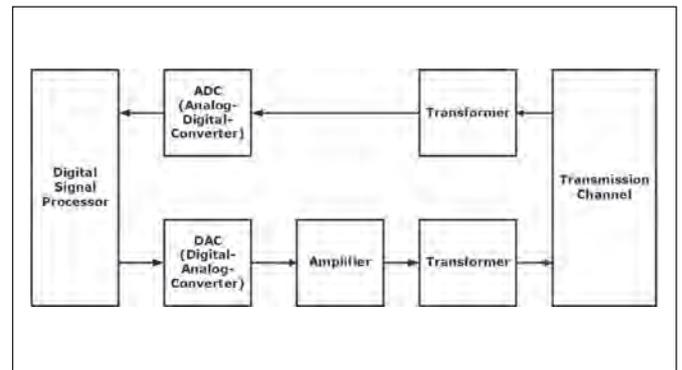


Figure 1: Principle of a physical layer DSP platform

The platform encodes the data and modulates it for sending it via the analog electronic over the transmission channel. The board may be coupled via interfaces, e.g., SPI to an industrial Ethernet protocol layer unit, e.g., our Automated RT-Tester [11] for simulating a PROFINET network over a proprietary physical layer like the multidrop OFDM-communication described in [6]. Such a flexible solution gives us an advantage regarding solutions with fixed physical layer ASICs. We are able to change and adapt every parameter of coding and modulations. It is possible to combine several technologies from well-known transmission standards with upcoming technologies like APL or new ideas. Only investigations “directly on the line” can yield key figures for special industrial applications that are meaningful.

3.2 First prototype of Hardware platform

A first platform is developed within this scope. The chosen digital signal processing platform comes with a C6746 DSP from TI with a core frequency of 375 MHz and an 8-Bit parallel port interface for connecting to ADCs and DACs. The parallel port may be driven with 75 MHz which allows us to create signals with a spectrum up to 37,5 Mhz. The DSP platform is interchangeable and may be replaced with another variant which is more powerful. Connected to the parallel port are the analogue digital converter AD9704 and the digital analogue converter LTC2250 [12][13]. The amplifier circuit, with the ADA48991 as high speed op amp, is dimensioned for transmitting up to 35 MHz. For first investigations this covers physical layer technologies like 100BASE-TX [7] and Homeplug GreenPHY [5]. Other physical layer modulations might also be used on this board but with reduced bandwidth and therefore a reduced data rate. Nevertheless quite a few applications in industry are covered.



Figure 2: Prototype of the physical layer platform with interchangeable DSP platform.



Figure 3: Measurements with OFDM Physical Layer combined with a 50 m reduced twisted pair cable

3.3 First measurement with OFDM PHY at reduced twisted pair

A first implementation of a Powerline similar OFDM layer was realized on the platform presented above. The advantage of this transmission technology for our investigations is the arbitrary use of frequencies given by a spectral mask. The bandwidth is only determined by the Shannon frequency depending on the sample rate. The first FEC implementation is the 10-fold repetition of the user data and the distribution of this data to different subcarriers. A 50 m long reduced twisted pair line was used as the transmission channel.

The following measurements represent data transmission at 5MS/s and 75MS/s respectively. One module was configured as transmitter, the other as receiver. At the receiver, the samples were read directly from the memory and evaluated in MATLAB for the results shown below. None of these measurements resulted in transmission errors in the user data.

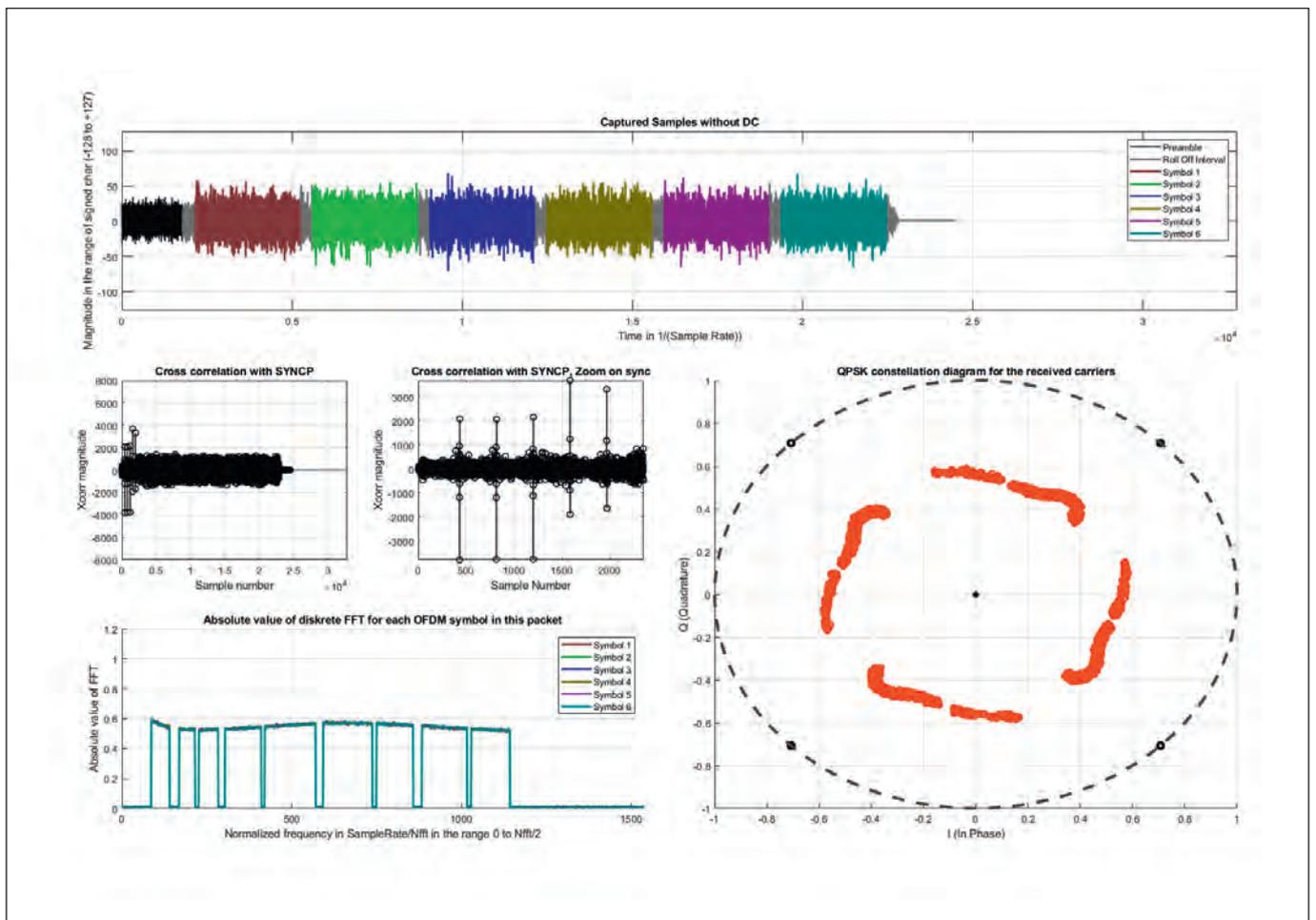


Figure 4: Measurement Results for 5 Ms/s (Frequency up to 2,5 MHz)

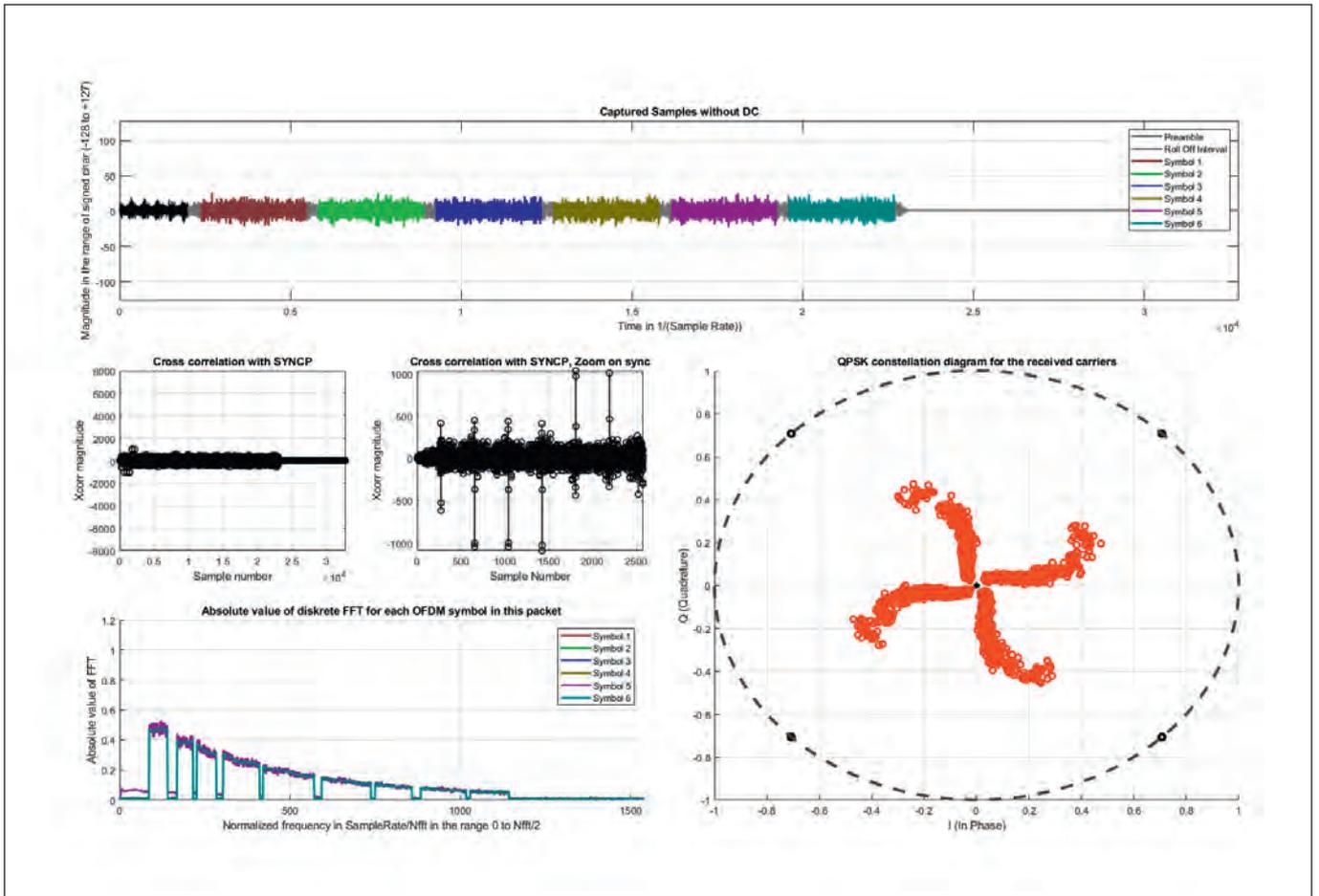


Figure 5: Measurement Results for 75 Ms/s (Frequency Range until 37,5 MHz)

Within our OFDM modulation only QPSK was used for the mapping of the symbols. In our results we can directly determine the attenuation and the phase shift for defined frequency ranges. Furthermore, the quality of the packet detection can be displayed with defined correlation diagrams.

4 Applications in development

The first implementation currently being developed is a powerline OFDM implementation, such as used in Green-Phy[5] which was already introduced above. The focus of this implementation is providing OFDM modulation for wired transmission systems. With such a base it is possible to investigate special modulation schemes like the Highly Synchronous Modulation Scheme for multidrop systems as described in [4].

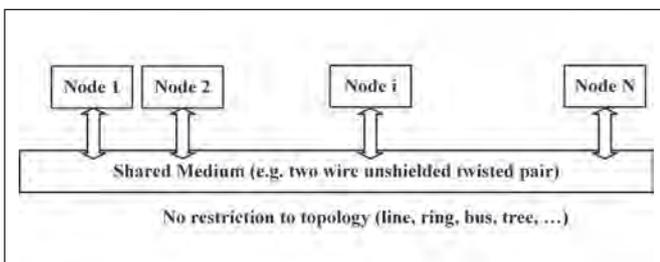


Figure 6: Concept of multidrop communication on a shared medium [4].

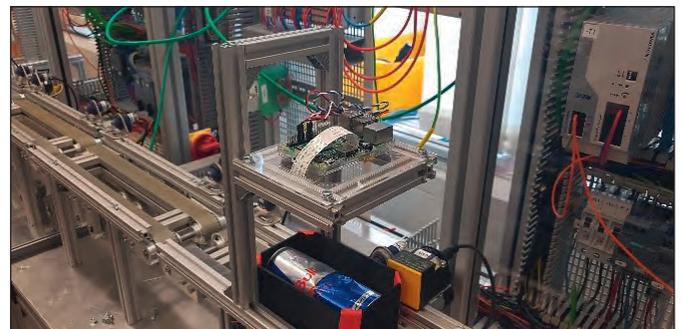


Figure 7: "Industry 4.0 Modules" configured to a conveyor-line

Further PHY realizations will be tested with such modules. To verify that we can use them in several special applications we use our "Industry 4.0" modules in our laboratory [14]:

Equipped with regular on the market available devices, e.g., PLCs, Inverters etc. it is possible to meaningful reproduce several industrial applications within our laboratory. This gives us the possibility to test and verify different transmission methods.

5 Further work and expected results

After the development of a platform for wired OFDM modulation, further Ethernet typical modulations shall be realized on the board [7]. Making sure we can use different ways of encoding and modulation for transferring our

real time data we test it with our “Industry 4.0 Modules” in authentic environments. This will give us the opportunities to investigate industrial key figures for non-ideal transmission channels.

For defining application-related key figures the precise knowledge of our transmission channel is unavoidable. In addition to already established methods for channel analysis, e.g., with vector network analyzer, we would also like to implement our own method with the board which is oriented towards channel measurements of IEEE1901 [15].

For this purpose a well-known OFDM packet is sent via the transmission channel. The receiver is able to demodulate and analyze the attenuation and phase shift of the well-known frequencies. These results are compared with those we are getting from a vector network analyzer. Furthermore especially for powerline OFDM systems like described in [16] we can analyze different packet detection methods, e.g., in [17]. Furthermore we can couple the board with the solution presented in [18] to get more performance information within our Industrial Ethernet network.

Referenzen:

- [1] openautomation.de, “HMS Market shares of industrial networks 2018”, 2018, [Online], Available: <https://www.openautomation.de/detailseite/hms-marktanteile-industrieller-netzwerke-2018.html>
- [2] K. Matheus and T. Königseder, “Automotive Ethernet”, The Physical Transmission of Automotive Ethernet, pp 102–178, ISBN 978-1-107-18322-3, Cambridge University Press, Second Edition 2017.
- [3] P. Beruto, A., Orzelli, “802.3cg draft 2.0 PLCA (Clause 148) Overview”, Task Force meeting materials, IEEE 802.3 Plenary Meeting, San Diego (CA) 2018.
- [4] SIEMENS AG, as-interface system manual, 2010
- [5] “HomePlug Green PHY Specification”, Release Version 1.1.1, July 4, 2013.
- [6] “Highly Synchronous Modulation Scheme for Multidrop Real-Time Control, Alexander Gercikow & Hans-Peter Schmidt”, unpublished. accepted for publication
- [7] IEEE Standard for Ethernet, IEEE Std 802.3™ – 2015.
- [8] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO) PROFIBUS & PROFINET International (PI), “PROFINET System Description”, 2018.
- [9] “PROFINET Cabling and Interconnection Technology, Guideline for PROFINET”, Version 4.00, PROFIBUS Nutzerorganisation e. V, May 2017
- [10] R. Elsner, “Theory of Message Transmission 2: The Transmission Channel”, Teubner Studienbücher, 1977
- [11] H.P. Schmidt, A. Gercikow, J. Rost. “Test Automation for PROFINET Devices with a Modern Test Concept”, research report from OTH Amberg-Weiden, ISSN 2365–1997, 2018.
- [12] AD9704 Digital-to-Analog Converter Datasheet, Analog Devices, 2017
- [13] LTC2250 Low Noise ADC Datasheet, 2005
- [14] A. Fuchs, H.P. Schmidt, “Industry 4.0 Technology Demonstrator for Research, Development and Education”, research report from OTH Amberg-Weiden, ISSN 2365–1997, 2019.
- [15] IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications IEEE Std 1901™-2010.
- [16] A. Pinomaa et al., “HomePlug Green PHY for the LVDC PLC Concept: Applicability study”, Proc. 19th Int. Symp. On Power Line Communications and its Applications (ISPLC), pp. 205–210, 29, 31 Mar., 2015.
- [17] Yuh-Ren Tsai and Guo-Xin Yu, “Sensing of OFDM signals based on time-domain autocorrelation induced by guard subcarriers”, IEEE 18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2017.
- [18] S.Fuchs, A.Gercikow, & Hans-Peter Schmidt, “Monitoring of real-time behavior of industrial ethernet for industry 4.0”, International Electrical Engineering Congress (IEECON), 2017

Projektpartner:

LJU Automatisierungstechnik
Siemens AG
Infineon Technologies AG
Rosenberger
SitLog GmbH
MSF-Vathauer Antriebstechnik GmbH & Co KG

Fördergeber:



Kontakt:



Alexander Gercikow, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

al.gercikow@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

hp.schmidt@oth-aw.de

Einfluss auf die Funktions- sicherheit bei aktiven medi- zinischen Implantaten bei Bestrahlung in der Brachytherapie

Larissa Blümlein, M.Sc.¹
Manuel Stich, M.Sc.¹
Anne Slawig, M.Sc.¹
Jonas Habrich, B.Eng.¹
Karina Schuller, M.Sc.¹
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Richard Lösch²
Dr. med. Matthias Hipp²
Dipl.-Ing. (FH) Gregor Schaeffers³
Prof. Dr. Ralf Ringler¹

1) Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Weiden
2) Klinikum St. Marien, Amberg
3) MR:comp GmbH, Gelsenkirchen

Zusammenfassung

Immer mehr Menschen erkranken im Laufe ihres Lebens an Herz-Kreislauf-Erkrankungen und sind auf aktive medizinische Implantate wie Herzschrittmacher oder andere medizinische Implantate angewiesen. Bedingt durch eine steigende Lebenserwartung steigt u. a. die Anzahl an Tumorpatienten. Im Zuge des Krankheitsverlaufes sind Patienten häufig ionisierender Strahlung durch diagnostischen und therapeutischen Modalitäten ausgesetzt, z. B. in der Brachytherapie. Durch Strahlung kann es somit zu Störungen bis zu vollständigen Ausfällen der Implantate kommen. Um den Einfluss von ionisierender Strahlung auf aktive medizinische Implantate zu untersuchen, wurde ein gewebeäquivalentes Phantom entwickelt, das als Testumgebung zur Untersuchung des Einflusses von Strahlung auf elektronische Bauteile eines Implantats oder auf das ganze Implantat selbst dient. Mithilfe des Phantoms konnten erste Messungen in der Brachytherapie Anwendung finden.

Abstract

More and more people suffer from cardiovascular disease during their lifetime and are dependent on active medical implants such as pacemakers or other devices. In addition to that, the number of tumor patients is increasing due to an increasing average life time. As the disease progresses, patients are often exposed to ionizing radiation due to diagnostic and therapeutic modalities. Radiation can lead to disturbances up to complete failure of active implants. In order to investigate the influence of ionizing radiation on active medical implants, a tissue-equivalent phantom was developed, which serves as a standard test environment for the influence of radiation on electronic components of implants or for the entire implant. With the phantom first measurements in the brachytherapy were applied.

1 Einleitung

Der demographische Wandel führt zu einer Zunahme von altersbedingten Krankheiten, die aktive medizinische Implantate zur Therapie benötigen. Dazu gehören u. a. Herzschrittmacher, Kardioverter-Defibrillatoren oder Implantate der Neurologie aber auch Hörgeräte [1]. Parallel dazu hat die Zahl der Patienten mit Tumoren, die in der Radiologie untersucht oder in der Strahlentherapie behandelt wurden, in den letzten Jahren ebenfalls zugenommen. Das implantierte aktive medizinische Gerät befindet sich nicht selten in unmittelbarer Nähe des Tumors, der mithilfe der Strahlentherapie als sogenanntes Planungszielvolumens (PTV) bestrahlt werden soll. Die Funktionalität des Implantats kann durch die ionisierende Strahlung somit vorübergehend oder

dauerhaft beeinträchtigt werden [2, 3, 4]. Um den Einfluss ionisierender Strahlung auf aktive medizinische Implantate zu untersuchen, wurde zunächst ein gewebeäquivalentes Phantom in unserer Arbeitsgruppe entwickelt. Es dient als Testumgebung zur Untersuchung des Einflusses ionisierender Strahlung auf elektronische Bauteile oder ganzer Implantate.

2 Material und Methoden

Das entwickelte gewebe- und patientenäquivalente Phantom (Abbildung 1) erlaubt die Dosismessung bei Energien von 50kV–15MV – deckt damit den Bereich der Radiologie, Nuklearmedizin/Brachytherapie und Strahlentherapie ab – an elektronischen Bauteilen und AIMDs. Zudem enthält das Phantom Organstrukturen

(Herz, Rippen, Wirbelsäule, Lunge), mit wechselwirkungsäquivalenten Eigenschaften (Streuung, Absorption, Photo- und Compton-Effekt) für den Energiebereich der offenen radioaktiven Stoffe (von 140 keV bis 2 MeV) die in der Brachytherapie eingesetzt werden. Mittels CT-Datensatz vom Phantom erfolgt eine Bestrahlungsplanung analog zu Patientenbestrahlungen. Aus dem Bestrahlungsplan kann die berechnete und zu erwartende Dosis am Implantat entnommen werden.

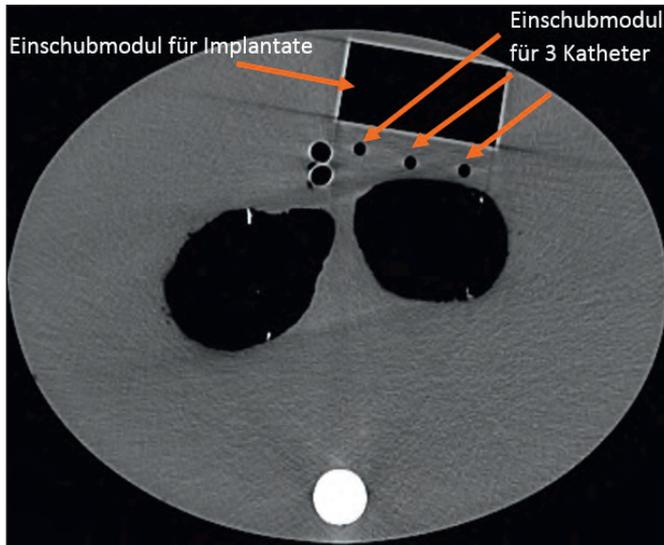


Abbildung 1: Darstellung des gewebeäquivalenten Messphantoms mit integrierten Einschubmodulen für Implantate und deren Bauteile sowie für Katheter für die Bestrahlung in der Brachytherapie.

Im aktuellen Setup wurden einzelne Elektronik-Bauteile, die auch in aktiven Implantaten verwendet werden, in das Phantom eingebracht. Die Bauteile – Flashspeicherbausteine, Kondensatoren und Lithium-Knopfzellenbatterien – wurden auf Platinen aufgelötet und in das Phantom eingebracht. Während bzw. nach einer Brachytherapiesitzung wurden die Bauteile ausgelesen. Die Bestrahlung erfolgte mit einer Ir-192 Quelle (micro-Selectron – Elekta) bei einer geplanten Dosis von 15 Gy (3x5 Gy) in 3 cm Gewebetiefe.

Im Bestrahlungsplanungssystem (Oncentra, siehe Abbildung 2) wurden die Haltepunkte alle 0,25 cm gesetzt. Durch drei Katheter wurde eine homogene Dosisverteilung über den gesamten Einschub erreicht. Ergänzend wurde mit einer Semiflex Ionisationskammer (PTW) mit 0,3 ccm sensitiven Volumen die Dosis an den Platinen verifiziert (Abbildung 3). Insgesamt wurden 30 Kondensatoren, 10 Lithium-Knopfzellenbatterien sowie 26 Flashspeicherkarten bestrahlt.

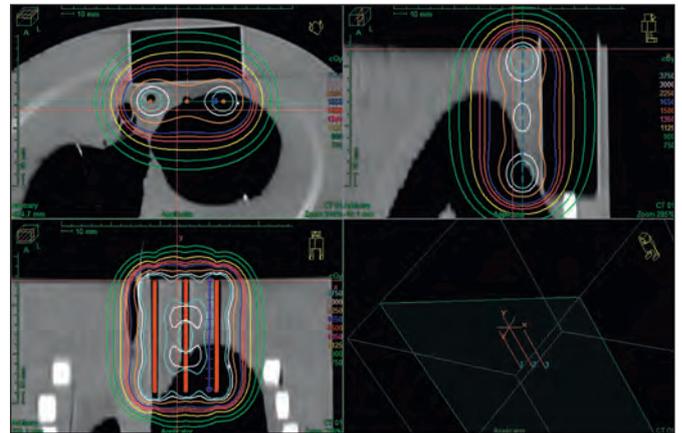


Abbildung 2: Bestrahlungsplan im Bestrahlungsplanungssystem Oncentra. Insgesamt wurde über das gesamte Einschubmodul eine homogene Dosis von 15 Gy appliziert.



Abbildung 3: Messaufbau in der Brachytherapie. Die Platine ist im Einschubmodul platziert. Des Weiteren wurde eine Ionisationskammer eingeführt um die Dosis an der Platine/Bauteilen zu verifizieren.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der verschiedenen Bauteile sind im Folgenden aufgezeigt.

3.1 Kondensatoren

Insgesamt wurden 30 Kondensatoren untersucht. Es wurde dabei das Lade- und Entladerhalten vor der Bestrahlung als Referenz sowie während der Bestrahlung (Real-Time) aufgenommen. Das charakteristische Verhalten der Bauteile bei Ladung und Entladung entspricht einer Exponentialfunktion und kann somit durch die beiden Parameter U_0 (Ausgangsspannung) und τ (Zeitkonstante) vollständig beschrieben werden. U_0 beträgt bei allen Kondensatoren 10 V und τ beträgt 160 ms. Die Auswertung von U_0 und τ zeigt dabei keine signifikante Abweichung. Einzelne Abweichungen (Abbildung 4) sind dabei nicht allein auf strahlungsinduzierte Effekte zurückzuführen, da diese im Bereich der Schwankungsbreite des Herstellers (bis zu 3%) liegen.

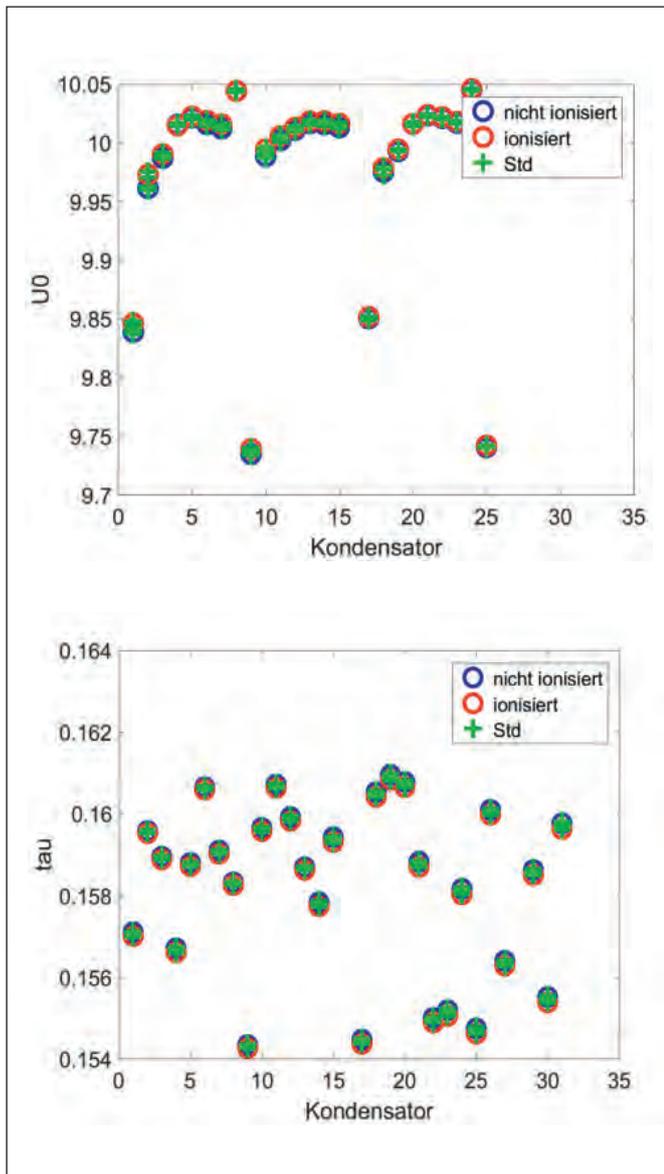


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Ergebnisse von U_0 und τ im bestrahlten und nicht bestrahlten Zustand (ionisiert, nicht ionisiert) sowie der dazugehörigen Standardabweichung. Es sind Abweichungen von bis zu 3 % erkennbar. Diese liegen jedoch in der natürlichen Schwankungsbreite des Herstellers.

3.2 Batterien

20 Batterien wurden ohne Strahlung über Widerstände entladen. Bei 10 weiteren Batterien wurde die Entladungskurve während und nach der Bestrahlung aufgezeichnet. Der Vergleich der bestrahlten Entladekurven im Vergleich zur Referenz ist in Abbildung 5 dargestellt. Es ist ein Trend zu erkennen, der auf ein schnelleres Entladen bei bestrahlten Batterien durch Anstieg des Innenwiderstandes hinweist.

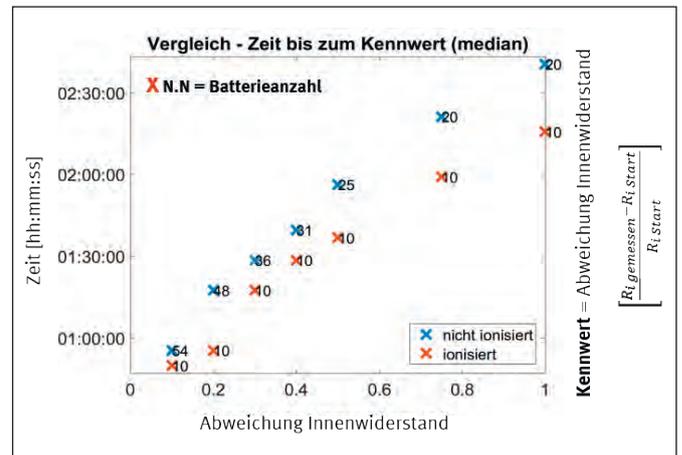


Abbildung 5: Entladekurve nicht bestrahlter – blaue Kreuze – und bestrahlter Batterien. Bei den bestrahlten Batterien – rote Kreuze – ist durch schnelleren Anstieg des Innenwiderstandes ein Trend des schnelleren Entladens erkennbar.

3.3 Flash-Speicherkarten

Es wurden 26 Speicherkarten (64 MByte) im nicht bestrahlten sowie im bestrahlten Zustand untersucht. Vor der Bestrahlung wurde ein vorher zufällig entworfenes Bitmuster aufgespielt und ein Speicherabbild jeder Karte mithilfe der Software „Disclmager“ abgespeichert. Direkt nach der Bestrahlung wurde der Vorgang das Bitmuster aus der Speicherkarte ausgelesen und beide Bitmuster miteinander verglichen. Die anschließende Auswertung erfolgte mit MATLAB. Durch den direkten Vergleich beider Vektoren (unbestrahlt und bestrahlt) konnten Änderungen der Bitabfolge detektiert werden. Bei 3 von 26 Speicherkarten wurden dabei fehlerhafte Bitabfolgen detektiert. Dabei waren je eine Speicherkarte mit 1, 2 und 3 Fehler in der Bitabfolge.

4 Zusammenfassung

Die durchgeführten Messungen zeigen vereinzelnde Abweichungen der Bauteile während der Bestrahlung. Abweichungen bei den Kondensatoren liegen im Rahmen der Spezifikationen der Hersteller und die Ergebnisse sind nicht signifikant. Bei den Batterien ist ein leichter Trend zur schnelleren Entladung nach Einfluss ionisierender Strahlung zu erkennen. Ebenso bei den Flash-Speicherbausteinen konnten bis zu drei Veränderungen in der Bitabfolge detektiert werden. Die Ergebnisse spiegeln somit das in der Klinik beobachtete Verhalten von aktiven Implantaten wieder, denn nicht jedes Implantat zeigt Störungen oder fällt bei der Bestrahlung sofort aus. Der nächste Schritt liegt nun darin, das Verhalten von integrierten Schaltkreisen unter ionisierender Strahlung zu beobachten, um gegenseitige Wechselwirkungen der Bauteile untereinander zu analysieren.

Referenzen:

- [1] Statistik der Arbeitsgruppe Herzschrittmacher und Elektrophysiologie der SGK (CH). <http://www.pacemaker.ch/de/statistik/>, Zuletzt aufgerufen: 30.07.2019.
- [2] Rodriguez, F., Filimonov A., Henning A., et. al. 1991: Radiation-Induced Effects in Multiprogrammable Pacemakers and Implantable Defibrillators. *Pace*, Vol. 14, 2005.
- [3] Blamires N. G., Myatt J. 1982: X-Ray Effects on Pacemaker Type Circuits. *Pace* Vol. 5, 1982.
- [4] Gauter-Fleckenstein B., et. al. 2015: *Strahlenther Onkol* (2015): 393–404.

Projektpartner:

MR:comp, Gelsenkirchen
Klinikum St. Marien Amberg, Amberg

Fördergeber:



Kontakt:



Larissa Blümlein, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

l.bluemlein@oth-aw.de



Prof. Dr. Ralf Ringler

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.ringler@oth-aw.de

Agnes Pöllmann, M.Sc.
Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Stemmer
Larissa Blümlein, M.Sc.
Karina Schuller, M.Sc.
Manuel Stich, M.Sc.
Philip Hammer, B.Sc.
Prof. Dr. Ralf Ringler

Reduktion der Strahlenexposition durch automatisierte LabView Steuerung und Messung am Beispiel des Sentinell-Lymphknoten-Phantoms

Einleitung / Motivation

Der Schutz vor ionisierender Strahlung ist ein wesentliches Ziel des Strahlenschutzgesetzes, das 2018 erneuert wurde und in Verbindung mit einer neuen Strahlenschutzverordnung in Kraft getreten ist. Die Umsetzung eines optimierten Strahlenschutzes in der Arbeit mit offenen radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung ist in vielen Versuchen schon immer Ziel der Arbeitsgruppe. Mithilfe von LabVIEW als Plattform für Steuerungs- und Messtechnikaufgaben, wurde nun eine automatisierte 2D-Verschiebeeinheit entwickelt, die Messwerte automatisch ohne Interaktion aufnehmen kann. LabVIEW eignet sich zudem in der Ausbildung der Studierenden im Bachelor- und Masterstudiengang Medizintechnik der OTH Amberg-Weiden und kann flexibel angepasst werden.

Erste Versuche mit der automatisierten Steuerung der 2D-Verschiebeeinheit und Messwertaufnahme wurde an dem von der OTH Amberg-Weiden entwickelten Sentinel-Lymphknoten-Phantom erfolgreich durchgeführt. Die Steuerung der Verschiebeeinheit ermöglicht die automatisierte Messung in vielen ungünstigen Umgebungsbedingungen oder bei dem Erfassen von vielen Messwerten in einem 2D-Messfeld oder 3D-Messvolumen. Mögliche Einsätze sind die Vermessung des Streufeldes von Magnet-Resonanz-Tomografen (MRT) oder die gestreute Röntgenstrahlung im klinischen Umfeld bei Durchleuchtungsanlagen (z. B. Angiografie bei Herzkatheder u. ä.) um die Strahlenexposition des Personals messtechnisch zu detektieren und Verbesserungen im Strahlenschutz vor dem Einsatz am Patienten abzuleiten.

Introduction / Motivation

Protection against ionizing radiation is an essential objective of the Radiation Protection Act, which was renewed in 2018 and came into force in conjunction with a new Radiation Protection Ordinance. The implementation of optimized radiation protection in working with open radioactive sources or ionizing radiation has always been the aim of the working group in many experiments. With the help of LabVIEW as a platform for control and measurement tasks, an automated 2D shift unit has been developed that can automatically acquire data without interaction. In addition, LabVIEW is suitable for the education of students in the bachelor and master degree in medical engineering of the OTH Amberg-Weiden and can be flexibly adapted.

First experiments with the automated control of the 2D shift unit and data acquisition were successfully carried out on the sentinel lymph node (SLN) phantom. The control of the shift unit enables automated measurement in many unfavorable environmental conditions or in the acquisition of a huge amount of data in a 2D- or 3D measuring volume. Possible applications are e. g. the measurement of the stray field of a magnetic resonance tomograph (MRT) or the scattered X-radiation in the clinical environment such as fluoroscopy systems or cardiac angiography to detect the radiation exposure of the personnel and therefore derive improvements in radiation protection before use.

Material und Methoden

2D-Verschiebe-Einheit

Zentrale Komponente ist die automatische Positionierung einer Messsonde in einem Umfeld um die Daten zu akquirieren und zu speichern. Dazu wurden verschiedene Antriebssysteme in der Bachelorarbeit von Philipp Hammer [1] untersucht. Für die geforderten Aufgaben der Positionierungsgenauigkeit und Geschwindigkeit wurde das System der Firma Robotunits ausgewählt (Abbildung 1). Bei diesem Modell werden die Linearführungen mit einem Riemenantrieb umgesetzt. Die vertikale Achse ist in der Mitte des Rahmen-Systems mit Profilen von Robotunits fixiert. Die Profile des Rahmens zeichnen sich durch eine starke Verwindungssteifigkeit aus, was eine Genauigkeit von $\pm 200 \mu\text{m}$ ermöglicht.

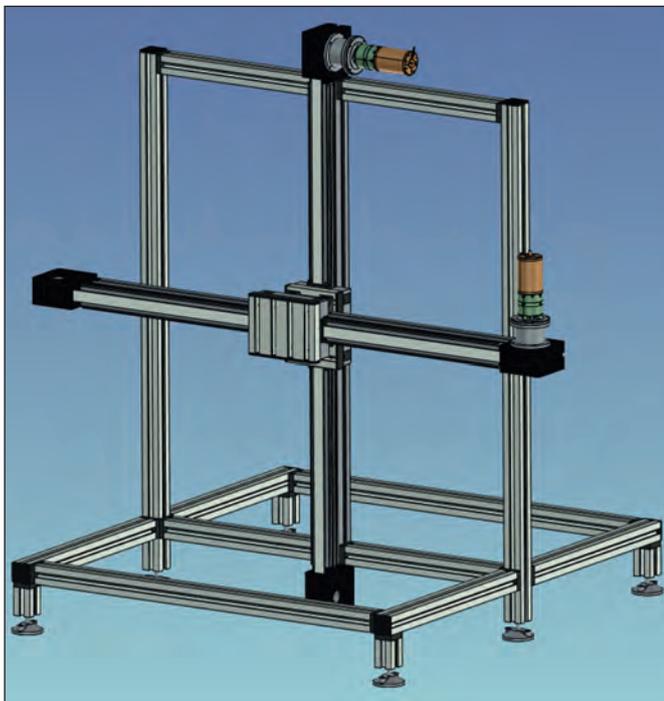


Abbildung 1: 2D-Verschiebeeinheit der Firma Robotunits mit Unterbau und Rahmen

Die Ansteuerung der 2D-Verschiebeeinheit erfolgt dabei via LabVIEW® und der USB Messkarte von National Instruments NI USB-6361 (AD-Wandler mit Ein-/Ausgängen und 2 Mbit Sampling Rate). Für die x- und y-Achse werden dabei Gleichstrommotoren mit Planetengetriebe der Firma ebmpapst verwendet (BCI-63.25-PX 63-204). Zur Positionserfassung werden Encoder vom Typ HEDS-5500 an der Antriebswelle montiert. Eine weitere Herausforderung ist das Gewicht der x-Achse aufzufangen. Dazu musste an der vertikalen Achse eine Bremse installiert werden, die vor einer neuen Höhenposition gelöst wird und nach Erreichen der neuen vertikalen Position wieder gesetzt wird. Diese Aufgaben lassen sich mithilfe der in Abbildung 2 gezeigten Softwarearchitektur in LabVIEW umsetzen.

LabVIEW ist eine graphische Programmiersprache, die es erfordert bei der Programmierung ein paar Regeln einzuhalten, um die Übersichtlichkeit des Codes zu wahren. Will man einen Ablauf programmieren bei dem bestimmte Befehle in einer bestimmten Reihenfolge nacheinander ausgeführt werden, würde man auf eine Sequenzstruktur zurückgreifen. Dies wird mit LabVIEW allerdings schnell unübersichtlich, da der Code so mehr als eine Bildschirmgröße in Anspruch nimmt, wodurch man leicht den Überblick verliert und sich selbst die Fehlersuche erschwert. Deshalb wird in diesem Fall auf die Softwarearchitektur eines Zustandsautomaten zurückgegriffen. Statt einer Sequenzstruktur werden eine Casestruktur und ein Caseselektor verwendet. So kann nicht nur eine bestimmte Reihenfolge eingehalten werden, sondern man hat die Möglichkeit zwischen mehreren Abläufen oder Schritten zu wählen.

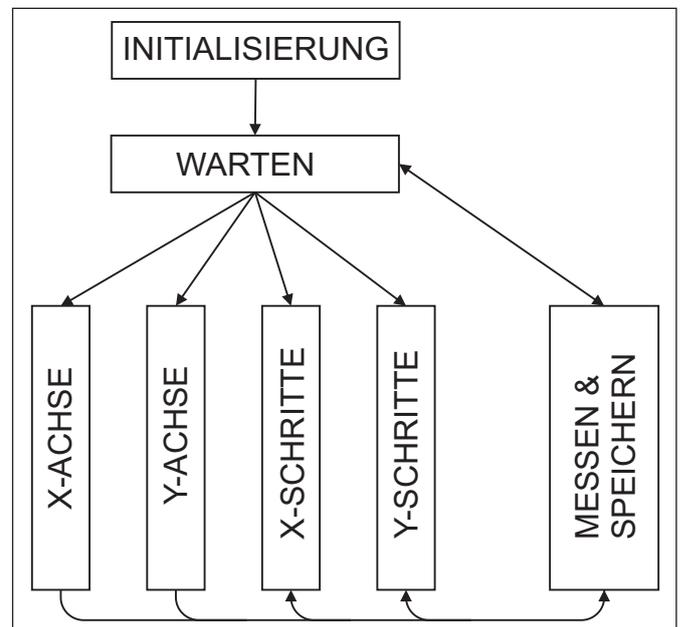


Abbildung 2: Zustandsautomat als Schema der Softwarearchitektur im LabVIEW-Programm

Startet man das LabVIEW-Programm, initialisiert sich das System automatisch und geht anschließend in den Zustand „WARTEN“ über. In diesem Zustand kann der Benutzer durch Betätigung der Schaltflächen auf der Benutzeroberfläche und Eingabe der gewünschten Parameter wählen, welche Aktion als Nächstes ausgeführt werden soll. Dazu gibt es grundsätzlich die Möglichkeiten die Verschiebeeinheit zu verfahren oder eine Messung zu starten und diese zu speichern. Wählt der Benutzer z. B. die Option „X-ACHSE“ verfährt das System die x-Achse um die gewünschte Länge, geht anschließend automatisch in den Zustand „MESSEN & SPEICHERN“ über, in dem Messwerte aufgenommen und abgespeichert werden und der Benutzer lediglich einmalig den Dateipfad angeben muss. Ist es für die Messung erforderlich mehrere Schritte hintereinander zu verfahren und an jeder einzelnen Position zu messen, gibt es auch die Option „MEHRERE X-SCHRITTE“. Dabei wird die Verschiebeeinheit um die gewünschte Strecke

verfahren und anschließend eine Messung aufgenommen und die Messwerte mit zugehöriger Position gespeichert. Dieses Prozedere wiederholt sich in gewünschter Anzahl an Schritten. Anschließend geht das System wieder in den Zustand „WARTEN“ über und es kann eine neue Option ausgewählt werden. Die Daten werden dabei jeweils in eine neue Datei mit fortlaufendem Index gespeichert. Die gleichen Optionen gibt es auch für die Verschiebung der y-Achse. Der Anwender kann anhand der Oberfläche die einzelnen Schritte auswählen und Parameter für die Messstrecke vorgeben (Abbildung 3).



Abbildung 3: Benutzeroberfläche des LabVIEW-Programms zur Ansteuerung der 2D-Verschiebeeinheit

Da die Codestruktur für die Ansteuerung der Motoren an der x- und y-Achse sowie für das Auslesen der Encodersignale identisch ist, kann bei der Programmierung auf sogenannte SubVIs zurückgegriffen werden (Abbildung 4). Das heißt, man schreibt den Code für die Ansteuerung eines Motors und kann dieses als Unterprogramm im Hauptprogramm mit Casestructur verwenden. Durch dieses Baukastenprinzip kann man zum einen die Programmierarbeit minimieren und da das Symbol, das das Unterprogramm repräsentiert im Verhältnis zum dahinterstehenden Code deutlich platzsparender ist, bleibt zum anderen die Übersichtlichkeit gewährleistet. So kann der komplette Code für die Ansteuerung der x-Achse auch für die Ansteuerung der y-Achse verwendet und leicht durch die Ansteuerung der Bremse erweitert werden. Dieses Baukastenprinzip erlaubt es Studierende in die aktuelle Forschung mit einzubeziehen und ihnen Aufgaben selbstständig lösen zu lassen. So können sie mit den vorhandenen Komponenten z. B. ein Programm für andere Verfahrmuster entwickeln, um damit z. B. das Streufeld einer Röntgenanlage abtasten zu können.

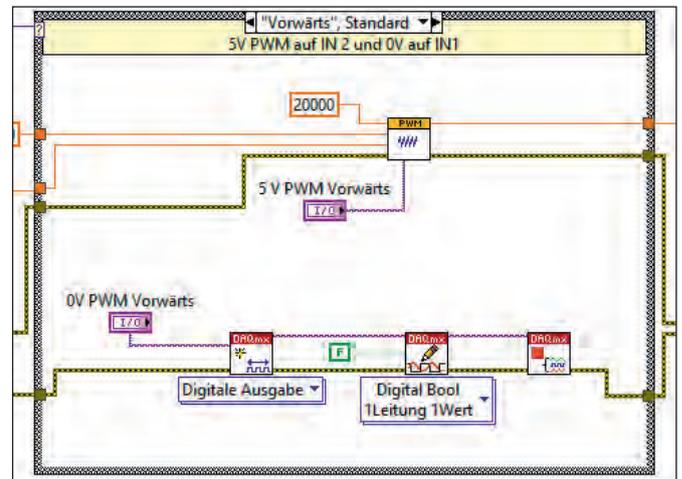


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Blockdiagramm des LabVIEW-Programms zur Ansteuerung der Verschiebeeinheit. Dieses kann als SubVI in dem gesamten Programm ausgelagert werden.

Sentinel-Lymphknoten-Phantom

Die Diagnose Brustkrebs wird jährlich etwa 46.000 Patientinnen in Deutschland gestellt, vor allem Frauen ab dem 40. Lebensjahr. Das entspricht in etwa jeder 10. Frau [2]. Bei der Therapie des Brustkrebses wird neben der Entfernung des Tumors auch nach dem Befehl von Wächterlymphknoten gesucht. Dazu werden intraoperativ geringe Mengen von radioaktivem Tc-99m in das Tumorgewebe eingebracht, die sich über die Lymphbahnen ausbreiten. In diesem Umfeld ist es für den operierenden Arzt im Vorfeld wichtig zu entscheiden, wie viele Lymphknoten in welcher Tiefe vorliegen.

Mithilfe des entwickelten Sentinel-Lymphknoten-Phantoms (SLN-Phantom) lassen sich nun gerade diese Situationen im Labor nachstellen und die verschiedenen Szenarien, die mit einer großen Anzahl von Messungen verbunden sind, mit der automatisierten Messung verbinden.

Abbildung 5 zeigt das weiterentwickelte SLN-Phantom, das in der ersten Fassung aus einer Bachelorarbeit konstruiert wurde [1, 3]. Die Positionierung der schwach radioaktiven Tc-99m-Quellen, die die Aktivitätsanreicherung im Lymphknoten simulieren, ist in definierten Abständen zueinander und ausgewählten Tiefen möglich.

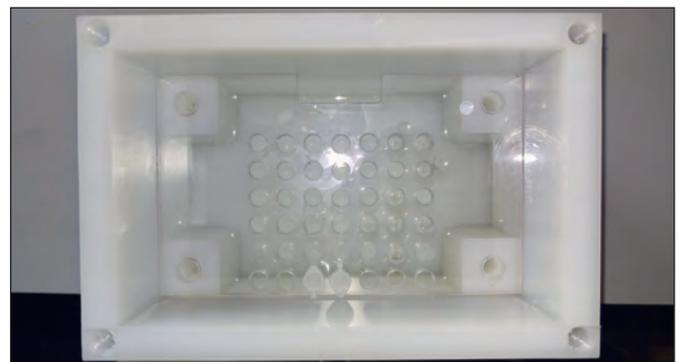


Abbildung 5: Modifiziertes SLN-Phantom. Ursprüngliche Entwicklung an der OTH Amberg-Weiden im Rahmen einer Bachelorarbeit aus [1,3]

Wird nun die SLN-Sonde auf der Verschiebeeinheit (Abbildung 6) positioniert, kann damit eine 2D Trajektorie automatisiert aufgenommen werden. Ziel ist anhand der Auflösung der Sonde dem Operateur Entscheidungshilfen an die Hand zu geben, ob es sich um einen Wächter-Lymphknoten oder multiple Knoten handelt. Daran entscheidet sich der operative Schnitt, der gesetzt werden muss, um die mit dem Tumor befallenen SLNs zu entfernen.

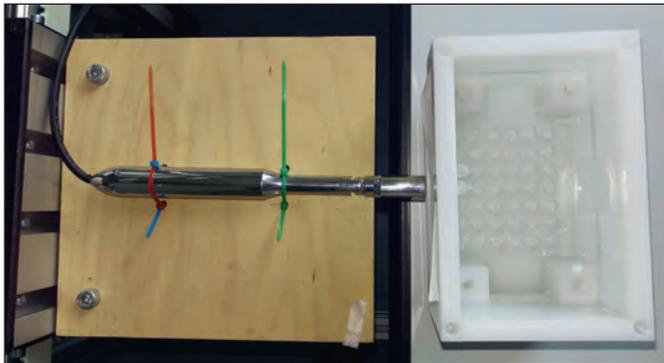


Abbildung 6: SLN-Phantom mit intraoperativen SLN-Sonde der Firma Crystal Photonics

Datenaufnahme der SLN-Sonde mit LabVIEW

Die Daten der SLN-Sonde von Crystal Photonics (Abbildung 7) werden über einen analogen Ausgang am Gerät mit der USB-Messkarte von National Instruments NI USB-6361 aufgenommen. Die Rohdaten werden ohne jegliche Verarbeitung durch LabVIEW in eine Datei abgespeichert, die im Anschluss mithilfe von Matlab verarbeitet werden.



Abbildung 7: Die SLN-Sonde der Firma Crystal Photonics liefert am analogen Ausgang das Signal, das mit der USB-Messkarte aufgenommen wird. Intraoperativ wird vom Chirurgen das Gewebe manuell abgesucht, um die Lage des Wächterlymphknotens zu detektieren, dabei wird sich an der steigenden Count rate (cps) am Display orientiert. [4]

Zuerst werden die Daten in Matlab, die aus einer Matrix mit drei Spalten bestehen, eingelesen. Die erste Spalte beinhaltet den Wert der Position der x-Achse, die zweite Spalte den der y-Achse. Die dritte Spalte besteht aus den Spannungswerten des Analogausgangs der Messsonde, die mit einer Rate von 2 Millionen Samples/Sekunde und einer Messdauer von 5 Sekunden aufgenommen wurden. Diese Werte werden in einem ersten Schritt in einer Übersichtsabbildung geplottet.

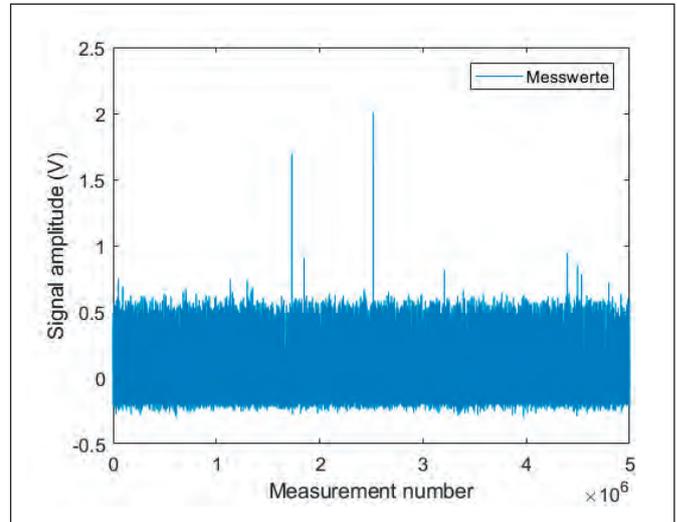


Abbildung 8: Signal am Analog-Ausgang der SLN-Sonde mit der USB-Messkarte gesampelt. In der Signalamplitude steckt die Energie des detektierten radioaktiven Zerfalls. Der Signalpegel bis ca. 0,5 V spiegelt das Rauschen wieder.

Aus der Übersichtsabbildung der Hintergrundmessung kann man erkennen, dass das Rauschniveau bei etwa 0,5 V liegt (Abbildung 8).

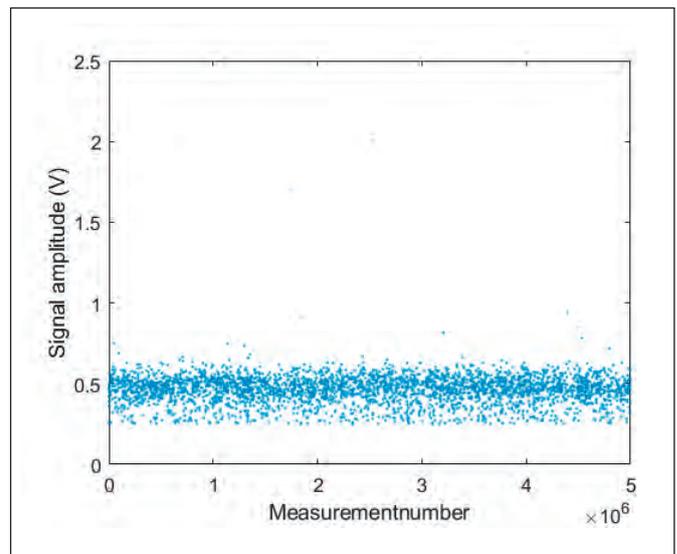


Abbildung 9: Übersicht über die Amplitude der Maxima der Spannungsrohdaten aufgetragen gegen ihre Position. Die Maxima werden in Matlab aus dem Rohdatensignal gewonnen.

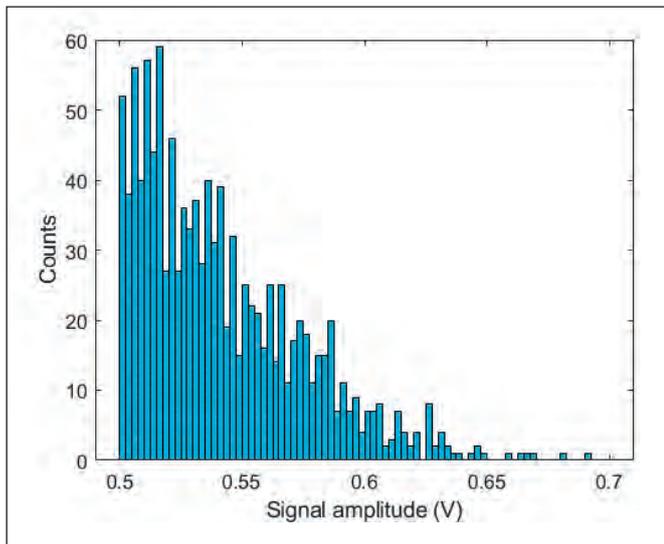


Abbildung 10: Histogramm-Verteilung der detektierten Photonen. Die Signalamplitude spiegelt dabei die Energie des Photons (in keV) wieder.

Im Anschluss wird mit der „Findpeak-Funktion“ nach den Maxima im Signal gesucht, die über dem Rauschniveau von 0,5 V liegen und deren Amplitude gegen die Anzahl an Messungen in einer Übersichtsabbildung aufgetragen (Abbildung 9). Daraus lässt sich bereits eine Bündelung der Maxima knapp oberhalb des Wertes 0,5 V erkennen. Um das Spektrum genauer darzustellen, werden die Maxima in ein Histogramm übertragen (Abbildung 10). Würde man die Rohdaten als Histogramm plotten, um das Spektrum abzubilden, wäre dieses verfälscht, da nicht nur die echten Maxima, sondern auch die Punkte beim Anstieg zum Maximum mitbetrachtet würden. Aus dem Spektrum und der Information von Crystal Photonics wie die Energie der detektierten Photonen und die Span-

nungswerte am Ausgang zusammenhängen, lässt sich schließen, dass der Photopeak von Tc-99m bei 0,63 V liegt. Um die auf dem Display angezeigte Zählrate zu erhalten werden die Ereignisse in einem Bereich von 0,63 V \pm 5% aufsummiert.

Zusammenfassung und Ausblick

Der oben dargestellte Aufbau einer 2D-Verschiebeeinheit und Messung mittels der USB-Messkarte zeigt eine erste erfolgreiche Umsetzung einer automatisierten Messung.

Die beiden zentralen Plattformen LabVIEW und Matlab lassen sich dabei ideal in die Ausbildung der Studierenden der Medizintechnik im Bachelor- und Master-Studiengang integrieren, da beide Softwareprogramme in Firmen zum Einsatz kommen.

Mithilfe der automatisierten Messung und Daten-Akquisition lässt sich auch in ungünstigen Messumgebungen ein zuverlässiges 2D-Feld oder 3D-Volumen erfassen. Damit lassen sich für den Bereich des Strahlenschutzes viele Fragen und Optimierungen für den klinischen Workflow erreichen. Dosisintensive Verfahren sind im klinischen Umfeld bei der Angiografie, dem Herzkatheder oder speziellen Therapieverfahren – Intraoperative Strahlentherapie, SIRT zur Behandlung von Lebermetastasen u. a. – zu finden. Bedingt durch die teilweise reduzierten Teilkörper Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung ist der Strahlenschutzverantwortliche gefordert die Risiken und die Exposition abzuschätzen. Hier kann eine reine Abschätzung hilfreich durch Messungen im realen Fall unterstützt werden, in dem patienten-äquivalente Phantome im klinischen Setup zum Einsatz kommen.

Referenzen:

- [1] P. Hammer. Automatisierte Bestimmung der Auflösung und Sensitivität einer Wächterlymphknoten-Sonde mit Hilfe eines Lymphknoten-Phantoms. Bachelorarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, 2016.
- [2] „Jede zehnte Frau erkrankt“, Ratgeber Brustkrebs, https://www.brustkrebs-studien.de/ratgeberbrustkrebs_grundlagen_hauffigkeit.php, letzter Zugriff 30.07.2019
- [3] K. Gmey, P. Hammer, M. Stich, R. Ringler, „Einfluss multipler Läsionen bei der Detektion von Sentinel Lymphknoten“, Kongressbeitrag/Poster P11 im Rahmen der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) 2017
- [4] SLN-Sonde Crystal Probe, Crystal Photonics GmbH, <https://crystal-photonics.com/>, letzter Zugriff 30.07.2019

Projektpartner:

Crystal Photonics GmbH, Berlin

Kontakt:



Agnes Pöllmann, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

a.poellmann@oth-aw.de



Prof. Dr. Ralf Ringler

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.ringler@oth-aw.de

Dr. rer. nat. Sebastian Buhl
Alexander Stich, M.Sc.
Sabine Gruber, B.Eng.
Jeannine Vogt, B.Eng.
Jonas Peter, B.Eng.
Martin Engelmann, B.Eng.
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Hygiene und Medizintechnik – Beständigkeit und Einsatz- möglichkeiten antimikrobieller Oberflächentechnologien bei hygienisch relevanten Oberflächen

Zusammenfassung

Nach der 2016 erhobenen „Deutschen nationalen Punkt-Prävalenzerhebung zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung“ ist zwar ein genereller Rückgang der nosokomialen Infektionen zu verzeichnen, allerdings ist deren Prävalenz noch immer hoch – 2011 wurde eine Prävalenz von 5,1 % ermittelt, 2016 lag der ermittelte Wert bei 4,6 %. [1] Derartige Infektionen werden meist von fakultativ-pathogenen Mikroorganismen hervorgerufen, die in der Mehrzahl zur physiologischen Flora des Menschen an verschiedenen Körperregionen gehören. Dort, wo die körpereigene Abwehr durch Blasenkatheter, OP-Instrumente, Tubus, Venenkatheter oder Endoskop außer Kraft gesetzt und der direkte Zugang in das Körperinnere geschaffen wird, findet sich auch die Eintrittspforte für Mikroorganismen. In diesem Fall wird in der Literatur von device-assoziierten Infektionen gesprochen. [2] Um eine Bewertung über potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten des „Hygienic Designs“ mittels antimikrobieller Oberflächentechnologien zu erhalten, wurden von uns Wirksamkeitsversuche an hygienisch relevanten Flächen durchgeführt. Dies erfolgte einerseits an einem Hämodialysegerät des Typs Fresenius 4008S, zum anderen im Vorbereitungsraum des Lehr- und Forschungsoperationssaales der OTH Amberg-Weiden. Zusätzlich wurde die Haltbarkeit solcher Beschichtungen in der klinischen Routine untersucht. Potenzielle Wirksamkeitsverluste der Beschichtungen durch wiederholte Aufbereitungsvorgänge können auf diese Weise erkannt und mögliche Verbesserungen für die Technologie erarbeitet werden.

Abstract

According to the „German National Point Prevalence Survey on Nosocomial Infections and Antibiotics Appliance“ in 2016, there is a general decline in nosocomial infections, but its prevalence is still high - a prevalence of 5.1 % was determined in 2011; determined value in 2016 was at 4.6 %. [1] Such infections are usually caused by facultative-pathogenic microorganisms, which in the majority belong to the physiological flora of humans at different locations. When the body's defense is suppressed by urinary catheters, surgical instruments, tracheal tubes, venous catheters or endoscopes and direct access into the body is created, there is also a gateway for microorganisms. Thus one speaks of device-associated infections. [2] In order to obtain an evaluation of potential improvements regarding „Hygienic Design“ by means of antimicrobial surface technologies, efficacy tests were carried out on hygienically relevant surfaces. This was done on the one hand on a hemodialysis machine of the type Fresenius 4008S, on the other hand in the preparation room of the teaching and research operating room of the OTH Amberg-Weiden. In addition, the durability of such coatings in clinical routine was investigated. Potential efficacy loss of the coatings through repeated disinfection measures could be detected in this way and possible improvements for the technology could be developed.

Einleitung

Laut der Prävalenzstudie 2016 zum Auftreten nosokomial erworbener Krankheiten ist in deutschen Krankenhäusern ein genereller Rückgang der nosokomialen

Infektionen zu verzeichnen. Zur erfolgreichen Bekämpfung nosokomialer Infektionen gehört unter anderem die ordnungsgemäße Planung und Einhaltung von Desinfektions- und Sterilisationsmaßnahmen. Aufgrund der immer größeren Anzahl und der immer komplexer

werdenden Medizinprodukte ist eine effiziente und effektive Aufbereitung nicht immer möglich. Von diesen teils unzureichend gereinigten Medizinprodukten geht eine Infektionsgefahr für medizinisches Personal und Patienten aus. Die Gefahr einer Infektion über kontaminierte Oberflächen wurde bereits durch andere Publikationen gezeigt. [3–5] Inwieweit sich das konstruktive Design von Medizinprodukten durch den Einsatz einer antimikrobiellen Beschichtung verbessern lässt, steht derzeit im Fokus verschiedener Forschungsprojekte. Um die Ansiedlung von Medizinprodukten mit zunehmender Keimzahl während des Arbeitstages zu vermeiden, könnten antimikrobielle Oberflächentechnologien große Vorteile bieten. Die grundsätzliche Wirksamkeit dieser Oberflächentechnologien kann durch Standardmethoden wie den japanischen Industriestandard (JIS Z 2801) oder die ISO Norm (ISO 22196) nachgewiesen werden. Es gibt jedoch nur wenige Studien zur Wirksamkeit antimikrobieller Technologien nach Wiederaufbereitung und dauerhafter Verwendung im Endprodukt. Als antimikrobielle Beschichtungstechnologie wurden für unsere Versuche verschiedene Formulierungen auf Basis von TiO_2 bzw. Polyoxymetallaten verwendet. Die chemische Zusammensetzung der unterschiedlichen Substanzen wurde in Kooperation mit der HECOSOL GmbH aus Bamberg bestimmt. Zum Aufbringen der Substanzen auf die Objektträger wird eine Adaption des in der Industrie üblichen Elektrosprayverfahrens angewandt. Die Technik stammt von der aus Georgia, USA stammenden Firma Electrostatic Spraying Systems (ESS). (Abb. 1)

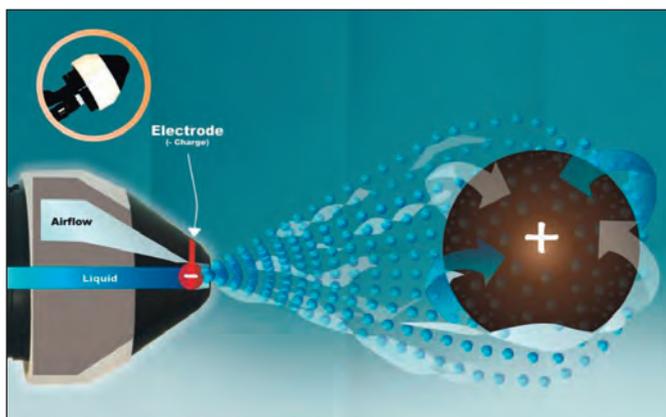


Abbildung 1: Prinzip der ESS-Technik

Verbesserungspotenzial hygienisch relevanter Oberflächen mittels antimikrobieller Oberflächentechnologien

Um eine Einschätzung des Potenzials antimikrobieller Oberflächentechnologien zu bewerten, überprüften wir das „Hygienic Design“ verschiedener hygienisch relevanter Oberflächen, z. B. das Hämodialysegerät Fresenius 4008S und die Oberflächen von Objekten im Vorbereitungsraum des Lehr- und Forschungs-OP der OTH Amberg-Weiden. (Abb. 2)



Abbildung 2: Beispieloberflächen zur Beurteilung der hygienisch relevanten Oberflächen mit gekennzeichneten Prüfpunkten des Fresenius 4008S Hämodialysegeräts (oben) und Vorbereitungsraums des Forschungs-OP (unten)

Für eine erste Bewertung wurden Experimente mit fluoreszierenden Markern sowie künstlichen mikrobiologischen Kontaminationen durchgeführt, um die Wirksamkeit der Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen zu beurteilen. In unserem Testaufbau konnten nahezu alle Oberflächen mit Standard Aufbereitungsmaßnahmen vollständig dekontaminiert werden. Aus den Ergebnissen lässt sich

ableiten, dass die untersuchten Objekte im Wesentlichen die Anforderungen des „Hygienic Design“ erfüllen. Eine Ausnahme bilden einige konstruktive Elemente (Abdeckungen, Kanten) beider Prüfobjekte, die schwer zu reinigen und zu desinfizieren sind. Dies konnte mittels Fluoreszenztests als standardisiertes Experiment zur Überprüfung der Reinigungseigenschaften gezeigt werden. (Abb. 3)

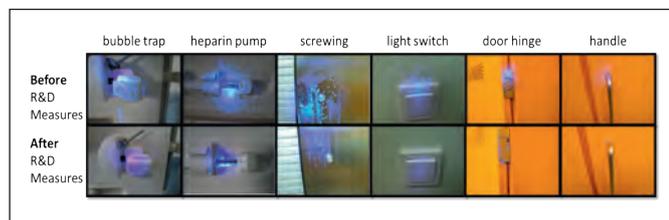


Abbildung 3: Beispiele zur Beurteilung der Reinigungswirkung mittels Fluoreszenztests

Standard Aufbereitungsmaßnahmen zeigen eine starke Verringerung der künstlichen mikrobiologischen Kontamination der Testoberflächen. Nach den Maßnahmen konnte keine verbliebene bakterielle Kontamination festgestellt werden.

In einem zweiten Schritt wurde die Auswirkungen der antimikrobiellen Oberflächentechnologie auf die bakterielle Kontamination überprüft. Hierfür wurden die bereits oben genannten Oberflächen mit der antimikrobiellen Oberflächentechnologie beschichtet und anschließend mit einer Bakterienlösung kontaminiert. Die antimikrobielle Beschichtung führte ebenfalls zu einer Verringerung der mikrobiologischen Kontamination, was auf eine effektive antimikrobielle Aktivität hindeutet. Obwohl die antimikrobielle Aktivität nach 4-stündiger Inkubationszeit auf unseren getesteten Oberflächen variierte, konnte dennoch gezeigt werden, dass sich auf einigen der getesteten Oberfläche keine mikrobiologische Restkontamination mehr befand. (Tab. 1)

Bezüglich der antimikrobiellen Oberflächenbeschichtung lässt sich erkennen, dass diese Maßnahme zwar zur Unterstützung des Hygienic Designs sinnvoll ist, allerdings keinen Ersatz für Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen darstellt. Außerdem lässt sich erkennen, dass die Oberflächen eine hohe Varianz bezüglich der Wirksamkeit der Beschichtung aufweisen. Dies lässt sich möglicherweise durch die Eigenschaften des zu Grunde liegenden Oberflächenmaterials begründen.

Mögliche Wirksamkeitsverluste antimikrobieller Beschichtungen durch Aufbereitungsmaßnahmen

Ein essenzieller Faktor für die Effektivität solcher antimikrobiellen Beschichtungen ist die Vermeidung potenzieller Wirksamkeitsverluste unter realen Bedingungen. Besonders Augenmerk wurde auf einen möglichen Abrieb von antimikrobiellen Beschichtungen durch Wiederaufbereitung unter routinemäßigen klinischen Bedingungen gelegt. In Labortests wurden von uns daher verschiedene Proben unterschiedlicher Materialien (Glas, Kunststoff, Metall, Fliesen) per Elektrospray mit unterschiedlichen Zusammensetzungen antimikrobieller Wirkstoffe beschichtet und die Beständigkeit der Beschichtungen nach definierten Abriebzyklen und mit verschiedenen Reinigungsmitteln analysiert. (Abb. 4)



Abbildung 4: Glas und Kunststoffoberflächen mit unterschiedlichen antimikrobiellen Beschichtungen

Tabelle 1: KBE-Anzahl und prozentuale Verringerung der beimpften bakteriellen Kontamination nach standardisierten Aufbereitungsmaßnahmen (A) und antimikrobieller Beschichtung (B)

A standard R&D measures		test point	Before R&D measures (in CFU)	After R&D measures (in CFU)	germ reduction (in percent)
Fresenius 4008S hemodialysis machine		control panel	>300	0	100
		housing leftside	>300	0	100
		housing rightside	>300	0	100
		housing backside	>300	0	100
		foot part	>300	0	100
preparation room of the research OR		wall	>300	0	100
		light switch	>300	0	100
		window	>300	0	100
		handle	>300	0	100
		floor	>300	0	100
B antimicrobial coating		test point	After inoculation (in CFU)	After 4 hour incubation (in CFU)	germ reduction (in percent)
Fresenius 4008S hemodialysis machine		control panel	>300	177	41
		housing leftside	>300	19	94
		housing rightside	>300	200	33
		housing backside	>300	300	0
		foot part	>300	22	93
preparation room of the research OR		wall	>300	293	2
		light switch	>300	82	73
		window	>300	0	100
		handle	>300	0	100
		floor	>300	300	0

Der standardisierte Test auf Abriebfestigkeit wurde mit dem Elcometer 1720 (Elcometer Instruments GmbH, Deutschland) durchgeführt. (Abb. 5) Die Beurteilung erfolgte durch lichtmikroskopische und elektronenmikroskopische Untersuchungen der Oberflächenstrukturen sowie durch mikrobiologische Testmethoden (JIS Z 2801 / ISO 22196).



Abbildung 5: Elcometer 1720 für standardisierte Abriebversuche

Einige unserer Ergebnisse zeigten starke Unterschiede in der Haltbarkeit der antimikrobiellen Beschichtung in Abhängigkeit von der Oberflächentextur und dem verwendeten Wirkstoff. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl das beschichtete Material als auch die chemischen Zusammensetzungen der Formulierung einen starken Einfluss auf das Abriebverhalten haben. Während einige der Beschichtungen auch nach wiederholten Abriebtests noch eine antimikrobielle Aktivität zeigten, wurde die Beschichtung anderer Testproben nach einmaligem Abwischen mit destilliertem Wasser sichtbar beschädigt. (Abb. 6)

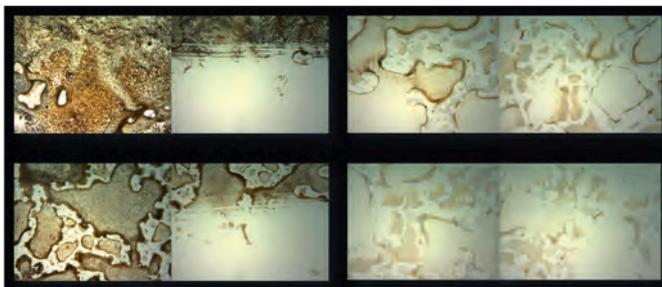


Abbildung 6: Mikroskopische Untersuchung des Abriebverhaltens der antimikrobiellen Beschichtungen

Nach der mikroskopischen Untersuchung des Abriebverhaltens wurden standardisierte JIS Z 2801 / ISO 22196-Tests der Oberflächen durchgeführt, um die verbliebene antimikrobielle Aktivität zu identifizieren. (Abb. 7)

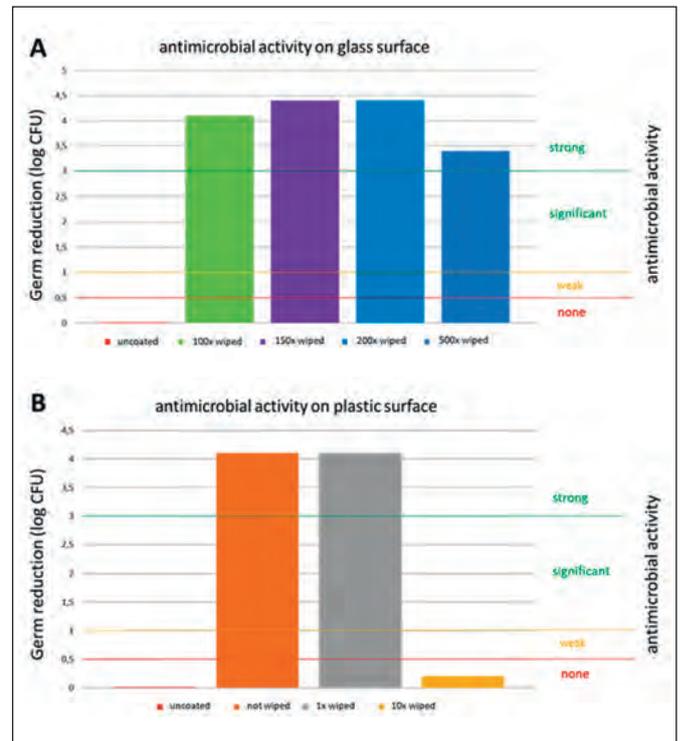


Abbildung 7: Bewertung der antimikrobiellen Wirksamkeit der getesteten Beschichtungen nach JIS Z 2801 / ISO 22196

Es konnte gezeigt werden, dass die Beständigkeit der antimikrobiellen Wirksamkeit stark von der Art der Oberfläche sowie der gewählten Beschichtung abhängt. Während bei den getesteten Kunststoffoberflächen bereits nach zehn Wischzyklen ein Verlust der Wirksamkeit festgestellt werden konnte, ist bei Glasoberflächen auch nach 500 Wischzyklen noch eine starke Wirksamkeit vorhanden. Wie auch bei den Versuchen zum Verbesserungspotenzial antimikrobieller Oberflächen lässt sich dies möglicherweise durch die Eigenschaften des zu Grunde liegenden Oberflächenmaterials begründen.

Fazit

Durch die mikrobiologische Kontamination von hygienisch relevanten Oberflächen können Erreger auf andere Personen übertragen werden. Hierbei werden die Erreger von den Händen einer Person auf einen unbelebten Gegenstand (z. B.: Tastatur, Bedienelement, u.s.w.) aufgebracht. Eine zweite Person kann bei anschließender Berührung der Oberfläche diese Erreger wiederaufnehmen und sich dadurch selbst oder Dritte (z. B. Patienten) kontaminieren oder infizieren. Aufgrund der Nutzungswiese bilden medizintechnische Produkte hier einen Großteil dieser hygienisch relevanten Oberflächen.

Vor allem durch die große Zahl der medizintechnischen Geräte, zusammen mit unzureichenden oder nicht umsetzbaren Aufbereitungsanweisungen, können mikrobielle Kontaminationen oftmals nicht ausreichend reduziert werden. Hier sollte schon zu Beginn der Entwicklung medizintechnischer Geräte ein größerer Fokus auf hygienegerechtes Design gelegt werden.

Dieses „Hygienic Design“ ist ein wichtiger Faktor für die effektive Reinigung und Desinfektion von hygienisch relevanten Oberflächen. Eine antimikrobielle Beschichtung kann zur Reduzierung des Gefahrenpotenzials beitragen. Aufgrund der Ergebnisse sollte jedoch bedacht werden, dass die Oberflächenbeschichtung kein Ersatz für prozedurale Hygienemaßnahmen ist, sondern als unterstützende und zusätzliche Maßnahme angesehen werden sollte.

Unsere Ergebnisse zeigen zudem, dass das Abriebverhalten und die antimikrobielle Aktivität stark vom Untergrundmaterial, der Formulierung selbst und den Reinigungsmitteln abhängen. Daher sollte eine genaue Bewertung des Zusammenspiels dieser Faktoren als wichtiger Baustein für das Design und die Entwicklung von antimikrobiell ausgerüsteten Produkten für den täglichen Routineeinsatz in klinischen Umgebungen angesehen werden. Nur so kann ein längerfristiger positiver Effekt der antimikrobiellen Beschichtungen gewährleistet werden und diese damit einen zusätzlichen Faktor zur Minimierung des Infektionsrisikos für medizinisches Personal und Patienten darstellen.

Referenzen:

- [1] Nationales Referenzzentrum für die Surveillance von nosokomialen Infektionen. Deutsche nationale Punkt-Prävalenzerhebung zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung 2016, Abschlussbericht. Im Internet: <http://www.nrzhygiene>.
- [2] Prof. Dr. med. K.-D. Zastrow. „Krankenhausinfektion – Ein medizinisches, soziales und ökonomisches Problem“. Im Internet: https://www.krankenhaushygiene.de/ccUpload/upload/files/information/2016_01_Pas
- [3] Bures S, Fishbain JT, Uyehara CF, et al. Computer keyboards and faucet handles as reservoirs of nosocomial pathogens in the intensive care unit. *Am J Infect Control* 2000; 28 (6): 465–471. doi:10.1067/mic.2000.107267
- [4] Zachary KC, Bayne PS, Morrison VJ, et al. Contamination of gowns, gloves, and stethoscopes with vancomycin-resistant enterococci. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2001; 22 (9): 560–564. doi:10.1086/501952
- [5] Noskin GA, Bednarz P, Suriano T, et al. Persistent contamination of fabric-covered furniture by vancomycin-resistant enterococci: implications for upholstery selection in hospitals. *Am J Infect Control* 2000; 28 (4): 311–313. doi:10.1067/mic.2000.108129

Kontakt:



Dr. rer. nat. Sebastian Buhl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

se.buhl@oth-aw.de



Alexander Stich, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Sabine Gruber, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Jeannine Vogt, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Jonas Peter, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Dekan
Leitung Institut für Medizintechnik (IfMZ),
Studiengangsleiter und Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

An aerial photograph of the Siemens Amberg high-tech site, featuring several large industrial buildings with white roofs. The image is overlaid with a digital grid and various alphanumeric characters (hexadecimal and binary) in a light blue color, suggesting a high-tech or digital environment. The background shows a suburban residential area with green trees and houses under a blue sky with light clouds.

SIEMENS

Ingenuity for life

Hightech-Standort Amberg – wir gestalten die Zukunft!

Seit über 70 Jahren entwickelt und fertigt Siemens in Amberg Produkte, Systeme und Software für den Weltmarkt. Mit fast 5.000 Beschäftigten und ca. 200 Auszubildenden ist Siemens der größte Arbeitgeber in der Region. Über 1.000 Ingenieure entwickeln Hightech-Produkte für industrielle Anwendungen, Infrastruktur und Gebäude, darunter führende Automatisierungssysteme wie die SIMATIC- und SIRIUS-Familie. Der mehrfach preisgekrönte Standort setzt auf modernste IT und Fertigungstechnologie und bildet damit die Blaupause für die digitale Fabrik der Zukunft. Siemens Amberg bietet zukunftsorientierte Arbeitsplätze mit attraktiven betrieblichen Leistungen eines global agierenden Unternehmens.

[siemens.de](https://www.siemens.de)

Multiphysics Simulationen eines Teststandes zur Untersuchung von HF induzierter Erwärmung bei aktiven implantierbaren Medizinprodukten

*publiziert in [13]

Michael Stahl
Larissa Blümlein, M.Sc.
Prof. Dr. Ralf Ringler
Prof. Dr.-Ing. Marc Hainke

Zusammenfassung

Zur Bewertung der HF induzierten Erwärmung müssen aktive implantierbare Medizinprodukte, wie z. B. Herzschrittmacher, umfangreichen Tests unterzogen werden. Die Anforderungen an entsprechende Testverfahren sind in der ISO/DTS 10974:2018 (Assessment of the safety of MR imaging for patients with an active implantable medical device) dargelegt.

An der Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen wird im Rahmen des ZIM-Projektes ZF4203603 BA8 ein neuartiger Teststand, besteht aus drei Linearachsen, aufgebaut. Die Entwicklung wird unterstützt durch komplexe Multiphysics Simulationen mit der Software ANSYS. Angefangen von Festigkeitsanalysen und kinematischen Modellen bis hin zu gekoppelten E-Feld-Temperatur-Strömungsberechnungen ermöglicht die Simulation eine frühe Optimierung des Versuchsaufbaus.

Keywords:

Magnetresonanztomographie, aktive Implantate, Multiphysics Simulation, elektromagnetische Felder

Abstract

In order to quantify the RF-induced heating in the presence of active implantable medical devices, e.g. a cardiac pacemaker, extensive tests have to be conducted. The test requirements are specified in ISO/DTS 10974:2018 (Assessment of the safety of MR imaging for patients with an active implantable medical device).

At the department of Industrial Engineering a novel test system based on three linear axes is developed within the framework of the ZIM-project ZF4203603 BA8. The development is supported by complex multiphysics simulations with the software package ANSYS. This includes analysis of mechanical strength, kinematic simulations and coupled simulations predicting the RF-induced heating. Numerical simulation enables front-loaded optimization of the test equipment.

1 Einleitung

Im Unterschied zu passiven Implantaten enthalten aktive Implantate eine Energiequelle zur Überwachung bzw. Unterstützung einer Körperfunktion [1]. Neben dem Herzschrittmacher als bekanntestes aktives Implantat, werden in den kommenden Jahren andere Systeme zunehmend an Verbreitung gewinnen. Aufgrund des demographischen Wandels steigt die Wahrscheinlichkeit, dass immer mehr Menschen mit aktiven Implantaten MRT-Untersuchungen benötigen. Eine wesentliche Wechselwirkung der MR-Umgebung mit dem aktiven Implantat betrifft die Erwärmung im Gewebe. Problematisch sind die patientenabhängigen elektromagnetischen Felder und der nicht standardisier-

bare Verlauf der Elektrodenkabel im Patientenkörper. Als aktueller technischer Standard beschreibt hier die ISO/DTS 10974 [2] die zu überprüfenden Aspekte.

Die numerische Simulation unterstützt aufgrund der komplexen physikalischen Phänomene wesentlich die Konzeption der Testverfahren und in der Literatur wird über verschiedene Anwendungen berichtet. Die Erwärmung einer einfachen Kupfer Geometrie durch die Kopplung der damals noch getrennten Tools ANSOFT HFSS und ANSYS Mechanical wird in [3] gezeigt. Direkt innerhalb der Workbench gekoppelten Berechnungen der beiden Tools behandeln u. a. die Position von Hot Spots bei helixförmigen Implantaten [4] und den Einfluss von gepulsten

zeitabhängigen E-Feldern [5]. Verschiedene geometrische Anordnungen der Implantate werden in [6] untersucht. Die Genauigkeit der Vorhersage der lokalen Absorptionsrate (SAR) ist dabei eine wesentliche Voraussetzung zur Gewährleistung der Patientensicherheit [7-9]. Komplexere Modelle der Spule erhöhen die Modellgenauigkeit allerdings mit deutlich gestiegenem Rechenaufwand [10]. Der in diesem Bericht diskutierte Modellansatz wurde auf der ANSYS Benutzer Konferenz 2019 vorgestellt [13].

2 Der technische Standard nach ISO/DTS 10974:2018

Der hier gezeigte Vergleich zur Bestätigung des Rechenmodells gilt für den Fall eines homogen einfallenden Feldes. Als Medium ist für das Phantom eine Salzwasserlösung mit 0.685 % NaCl gewählt. Bei der Frequenz von 64 MHz und der Temperatur 25 °C beträgt die relative elektrische Permeabilität 78, der Wert der elektrischen Leitfähigkeit ist $\sigma = 1.2 \text{ S/m}$. Die in der Rechnung vorgegebenen Dimensionen für das zylindrische Phantom sind $w = 220 \text{ mm}$, $h = 220 \text{ mm}$, $d = 90 \text{ mm}$, die Länge der Spule beträgt $h_{BC} = 650 \text{ mm}$, der Spulendurchmesser ist $d_{BC} = 750 \text{ mm}$ [11]. Ein Vergleich mit den nach [2] erwarteten Werten für den Betrag des tangentialen E-Feldes ist in Abbildung 1 gezeigt und bestätigt die grundsätzliche Konfiguration des Modells.

Die Erwärmung innerhalb des Phantoms kann grundsätzlich durch die lokale Absorptionsrate

$$\text{SAR} = c \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

mit der spezifischen Wärmekapazität $c = 4150 \text{ J/(kgK)}$, der Temperaturerhöhung ΔT und dem betrachteten Zeitintervall Δt charakterisiert werden. Nach [11] resultiert $\text{SAR} = 1 \text{ W/kg}$ in einem Medium mit der elektrischen Leitfähigkeit $\sigma = 0.46 \text{ S/m}$ bei 64 MHz. Nach $\Delta t = 6 \text{ min}$ entspricht dies einer Temperaturerhöhung von $\Delta T = 1.30 \text{ °C}$ in Gegenwart eines Titan-Stabes.

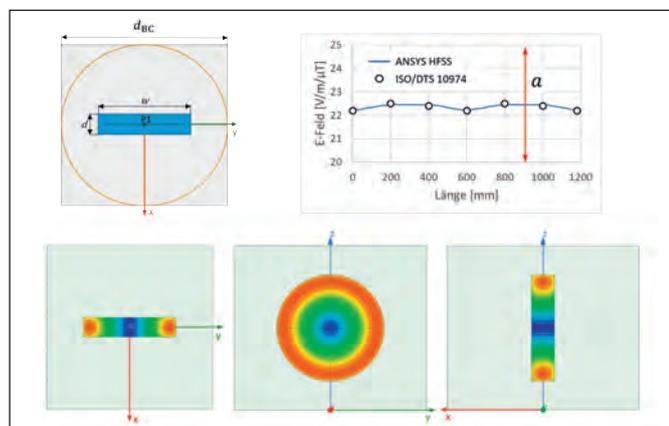


Abbildung 1: ANSYS-HFSS-Simulation eines homogenen einfallenden Feldes. Gezeigt ist das zylindrische Phantom innerhalb der Spule (links oben), ein Vergleich mit Ergebnissen aus dem technischen Standard [2] (rechts oben) und verschiedene Schnittansichten der E-Felder im Phantom (unten).

3 Teststand

Der neu zu entwickelnde Teststand besteht aus drei Linearachsen und soll die Untersuchung der Erwärmung zwei unterschiedlichen Spulensystemen ButCoil mit 128 MHz ($h = 1000 \text{ mm}$, $d_i = 580 \text{ mm}$, $d_a = 650 \text{ mm}$) und MITS mit 64 MHz ($h = 846 \text{ mm}$, $d_i = 700 \text{ mm}$, $d_a = 848 \text{ mm}$) ermöglichen. Die Masse der Spulen beträgt jeweils ca. 50 kg. Die Messung der lokalen Erwärmung erfolgt mit der Messsonde EASY4MRI der Firma speag [12]. Besondere Herausforderungen bei der Konstruktion sind die geforderte hohe Genauigkeit des Systems aufgrund der teilweise sehr starken Variationen der physikalischen Größen und eine möglichst geringe Beeinflussung des HF-Feldes. Das Catia 3D-CAD-Modell der Gesamtbaugruppe ist in Abbildung 2 gezeigt. Die Gesamthöhe beträgt ca. 2 m. Die wesentlichen Komponenten sind die drei Bewegungsachsen, wobei insbesondere die z-Achse hinsichtlich der HF-Kompatibilität gestaltet werden muss. Ein weiteres Entwicklungsziel ist die einfache Handhabung von Spule und Phantom durch geeignete Positionierungssysteme. Für die Prüfung wird das zu vermessende Objekt in das mit NaCl gefüllte Phantom gelegt und im System fixiert. Die Temperaturmessung erfolgt schließlich durch ein definiertes Verfahren der Sonde entlang des Probenkörpers.

In einem studentischen Projekt wurden verschiedene Lösungen für die Komponenten entwickelt. Die gezeigte Variante der z-Bewegungseinheit ist so konstruiert, dass alle elektrischen Antriebe während einer Messung außerhalb der Spule bleiben und somit keine bzw. nur geringe Einwirkung auf das E-Feld in der Spule haben. Die Komponenten innerhalb der Spule sind aus Kunststoffen gefertigt, die Bewegung in vertikaler Richtung wird durch eine Trapezgewindespindel Tr16x4 realisiert. Das Getriebe führt im feinsten Modus zu einer Verfahrensgeschwindigkeit von ca. 1 mm/min.

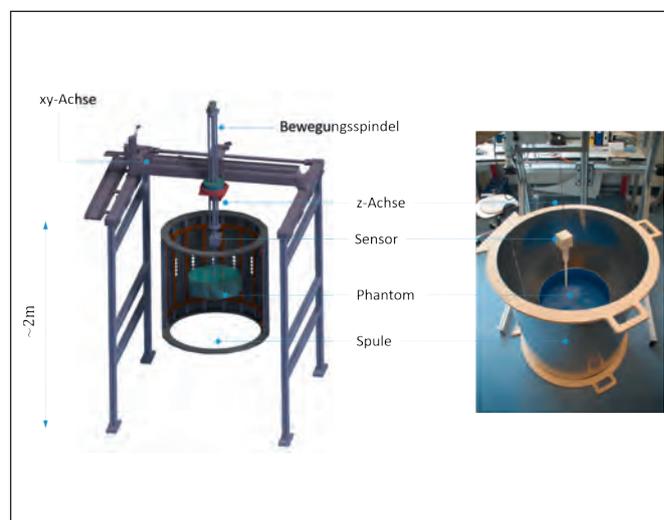


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau des Messstandes (links) und Demonstrationsmodell der Spule mit 3D-gedrucktem Modell der Messsonde (rechts). Die hier gezeigte Variante basiert auf der Verwendung einer Bewegungsspindel für die Realisierung der z-Achse.

4 Multiphysics Simulationen mit ANSYS Workbench

Als Anwendungsbeispiel ist im Folgenden die Bestimmung der Wärmestromdichte und damit der Erwärmung eines Objektes aufgrund des E-Feldes gezeigt. Die Umsetzung ist vollständig innerhalb der Workbenchumgebung möglich (siehe Abbildung 3). Aufgrund der verschiedenen physikalischen Effekte müssen hierfür mehrere Tools gekoppelt werden. Die Simulationen basieren auf mit Catia erzeugten 3D-Geometrien, die mithilfe der ANSYS Tools noch parametrisiert werden können. Die E-Feld-Berechnung wird mithilfe des Tools ANSYS HFSS durchgeführt. Hierbei sind verschiedene Genauigkeitsstufen möglich. Für ein einfaches homogenes Wechselfeld muss zusätzlich, wie gezeigt, das Tool ANSYS Maxwell 3D integriert werden. Grundsätzlich kann mit ANSYS HFSS die gesamte Spule modelliert werden, allerdings mit deutlich gesteigertem Modellierungs- und Berechnungsaufwand. Um den Rechenaufwand zu begrenzen, können die Felder der genauen Spulenberechnung als Randbedingungen vorgegeben werden. Die ermittelten Wärmeströme sind die Basis für eine transiente thermische Analyse. Die resultierende Temperaturverteilung kann schließlich in eine strukturmechanische Berechnung übertragen werden. Die Parametrisierung der Modelle erlaubt sowohl eine schnelle Variation wesentlicher geometrischer Größen (z. B. Durchmesser und Position) als auch eine systematische Analyse zum Einfluss der physikalischen Parameter (z. B. elektrische Leitfähigkeit).

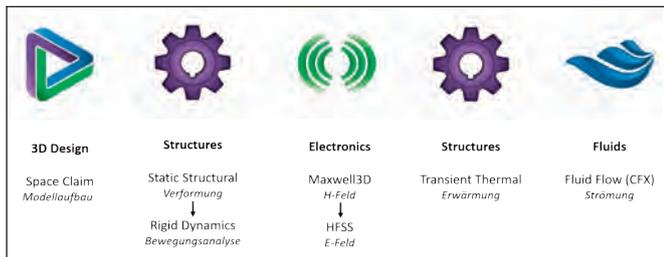


Abbildung 3: Der Simulationsablauf vom 3D-Modell über die Feldberechnung bis hin zur thermomechanischen Analyse ist vollständig in der ANSYS Workbench integriert. Die Definition wesentlicher geometrischer und physikalischer Parameter erlaubt eine einfache Analyse der Parameterabhängigkeiten.

Die Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer gekoppelten Simulation. Die thermische Simulation erlaubt beispielsweise die Lokalisierung von Hot Spots im Systemaufbau. Die tatsächliche Temperaturerhöhung im menschlichen Organismus ist allerdings wesentlich Abhängig von den auftretenden Wärmetransportmechanismen und kann sich demnach von den Messungen im Phantom unterscheiden. So kann durch konvektiven Wärmetransport in Blutgefäßen die Temperaturerhöhung im Vergleich zum Laborsystem geringer ausfallen, falls diese Bedingungen in unmittelbarer Nähe des Implantates vorliegen [11]. Im Vergleich zum Versuch können diese Effekte in der Simulation leicht durch entsprechende Randbedingungen nachgebildet werden.

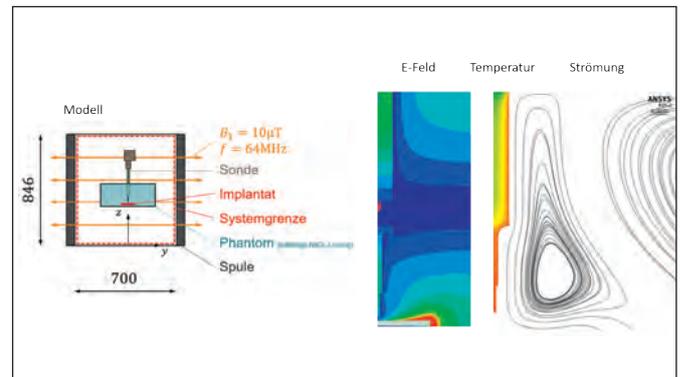


Abbildung 4: E-Feld im Phantom im Bereich der Messsonde (links), Temperaturverteilung (Mitte) und Strömungsfeld (rechts) nach 1 min Versuchsdauer.

5 Fazit

Mithilfe des gezeigten Simulationsmodells können die wesentlichen physikalischen Effekte des zu entwickelnden Teststandes abgebildet werden. Dies ermöglicht die systematische Untersuchung von Abschirmungseffekten und Studien zum Einfluss verschiedener Konstruktionswerkstoffe. In zukünftigen Simulationen soll insbesondere der Einfluss einer genaueren Modellierung des E-Feldes der Spule auf die Modellvorhersagen bewertet werden.

Referenzen:

- [1] BGI/GUV-I 5111: Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder, 2012
- [2] Technical Standard ISO/DTS 10974: Assessment of the safety of MR imaging for patients with an active implantable medical device, 2018
- [3] El Sabbagh, M.: Electromagnetic-Thermal Analysis Study Based on HFSS-ANSYS Link, Electr. Eng. Comp. Sci., Technical Reports, 2011
- [4] Kozlov, M, Schaefers, G.: Analysis of Power Deposition and Temperature Rise Due to Presence of an Implant Inside a 1.5T MRI RF Coil, IEEE, 5797–5800, 2015
- [5] Kozlov, M., Schaefers, G.: Numerical Analysis of Time-varied Radio Frequency Induced Heating on and near an Implant during Magnetic Resonance Imaging, IEEE, 2015
- [6] Kozlov, M.; Schaefers, G.: An Evaluation of Radio Frequency Induced Power Deposition with an Implant Model, IEEE, 2015
- [7] Liu, Y.; et al.: Computational and Experimental Studies of an Orthopedic Implant: MRI-Related Heating at 1.5-T/64-MHz and 3-T/128-MHz, J. Magn. Reson. Imaging, 37, 2013
- [8] Pisa, S.; et al.: Power Absorption and Temperature Elevation Produced by Magnetic Resonance Apparatus in the Thorax of Patients With Implanted Pacemakers, IEEE Trans. Electromag. Comp., Vol. 52, No. 1, 2010
- [9] Oh, S.; et al.: Experimental and Numerical Assessment of MRI-Induced Temperature Change and SAR Distributions in Phantoms and In Vivo, Mag. Res. Med. 63, 2010
- [10] Lucano, E.; et al.: Assessing the Electromagnetic Fields Generated By a Radiofrequency MRI Body Coil at 64MHz: Defeating Versus Accuracy, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 63, No. 8, 2016
- [11] ASTM F2182-11a: Standard Test Method for Measurement of Radio Frequency Induced Heating On or Near Passive Implants During Magnetic Resonance Imaging
- [12] Schmid & Partner Engineering AG, www.speag.swiss
- [13] Stahl, M. et al.: Entwicklung eines Teststandes zur Untersuchung von HF induzierter Erwärmung bei aktiven implantierbaren Medizinprodukten, ANSYS Users Meeting, 2019

Fördergeber:

Diese Arbeit wird finanziell unterstützt im Rahmen des ZIM-Projektes ZF4203603 BA8.



Kontakt:



Michael Stahl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.stahl2@oth-aw.de



Larissa Blümlein, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

l.bluemlein@oth-aw.de



Prof. Dr. Ralf Ringler

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.ringler@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Marc Hainke

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.hainke@oth-aw.de

Zusammenfassung

„Die Fähigkeit zur Innovation entscheidet über unser Schicksal.“ Was der damalige Bundespräsident Roman Herzog vor über 20 Jahren in seiner berühmten „Rück-Rede“ formulierte, ist für Hochschulen und Wirtschaft in Zeiten von Digitalisierung und Industrie 4.0 mehr denn je Verpflichtung. Bund und Länder reagieren auf die Herausforderungen, indem sie die Hochschullandschaft strukturell so ausrichten wollen, dass mehr und noch erfolgreicherer Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft möglich und damit die Innovationskraft insbesondere der ländlichen Räume gestärkt wird. Die OTH Amberg-Weiden ist Teil dieser Förderinitiative – das in diesem Rahmen geförderte Verbundprojekt TRIO tritt in eine neue Phase ein. Ein Zwischenbericht mit grundsätzlichen Betrachtungen.

Abstract

„The ability to innovate determines our fate.“ This quote from Federal President Roman Herzog, formulated 20 years ago, is more than ever an obligation for universities and industry in times of digitalization and Industry 4.0. The federal and state governments are responding to the challenges by structurally aligning the university landscape in such a way that more and also more successful transfer to economy and society are possible, thereby strengthening the innovative power of rural areas in particular. The OTH Amberg-Weiden is part of this funding initiative - the TRIO consortium project funded in this context is entering into a new phase. A progress report with fundamental considerations.

Das seit dem Jahr 2018 laufende Verbundvorhaben „Transfer und Innovation Ostbayern“ (TRIO) verlässt die Konzeptions- und Vorbereitungsphase und tritt in die Phase der Umsetzung und Erprobung ein.

Durch die Breite und Tiefe der vorgesehenen Strukturanalysen und -maßnahmen sowie die Vielzahl der fast alle Fakultäten und Bereiche der Hochschule einbindenden Aktivitäten (von der Wissenschaftskommunikation über Innovationslabore bis hin zur Anbahnung konkreter Forschungsvorhaben mit Unternehmen) hat dieses Projekt Implikationen für Herangehensweisen und Strukturen des Transfers und somit gegebenenfalls sogar für das Profil der Hochschule.

Das Projekt zeichnet die Hochschule als „Innovative Hochschule“ aus, als Teil der Bund-Länder-Förderinitiative, die das Pendant zur Exzellenzstrategie darstellt. Die „Innovative Hochschule“ fokussiert dabei die „Third Mission“.



Abbildung 1: Blick in das machbar Innovationslabor im WTC am Campus in Weiden. Raum für Kreativität und Innovationen.

„Third Mission“ – Auftrag und unerforschtes Land

Lehre und Forschung zählen nach dem Hochschulgesetz zu den Kernaufgaben einer Hochschule. Daneben hat sich mittlerweile zunehmend eine weitere, dritte akade-

mische Mission etabliert, bei welcher der bidirektionale Austausch der Hochschulen in die und mit der Wissensgesellschaft im Mittelpunkt steht. [1] Neben Veranstaltungen für die breite Öffentlichkeit (wie ein „Tag der offenen Tür“) umfasst dieser Austausch insbesondere auch die Zusammenarbeit mit der Wirtschaft, und auch dies ist Teil der gesetzlich festgelegten Aufgaben der Hochschule.

Dahinter steht das europaweite Ziel, dass Hochschulen wie die Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden einen Beitrag zur Schaffung von Arbeitsplätzen und wirtschaftlichem Wachstum der Regionen, in denen sie verankert sind, leisten sollen. Dabei wiederum stellt die Förderung von Innovation einen wesentlichen Aspekt dar.

Nun sind die Hochschulen für angewandte Wissenschaften seit jeher stark auf die Wirtschaft bzw. die Branchen und Unternehmen ihres jeweiligen Einzugsgebietes ausgerichtet (Stichwort Praxisorientierung). Auftragsforschung und Kooperationen bei Forschung und Lehre/Ausbildung gehören auch zur DNA der OTH Amberg-Weiden, die somit längst in dritter Mission unterwegs ist.

Tatsächlich fasst der Begriff „Third Mission“ langjährige Tätigkeiten der Hochschulen zusammen, er weist aber auch darüber hinaus, erweitert das Verständnis des Prozesses, wie aus Ideen zunächst Erkenntnisse in Forschung und Entwicklung, dann konkrete Prozesse, Strukturen oder Produkte im Alltag werden.

Insbesondere trägt der Begriff „Third Mission“ der Tatsache Rechnung, dass die simplifizierende Vorstellung einer linearen Abfolge im Sinne einer Kausalkette im Falle eines Innovationsprozesses von der Erkenntnis abgelöst wird, dass Feedbackschleifen, Austausch über gesellschaftlichen Nutzen oder die Akzeptanz bestimmter Neuerungen sowie Möglichkeiten für weitere Konsortialpartner im Verlauf eines solchen Prozesses ein- oder auszusteigen, für gelingende Innovationen unabdingbar sind.

„Third Mission“ ist also mehr als ein bloßer Sammelbegriff für das, was nicht unter Lehre oder Forschung gefasst werden kann. „Third Mission“ ist aber auch nicht nur das Transfer-Medium, in welchem Forschung und Lehre ihre Wirksamkeit entfalten. „Third Mission“ muss von jeder Hochschule individuell definiert und in im Alltag lebendige Strukturen und Prozesse umgesetzt werden.

Ein Ausbau der „Third Mission“ als dritte Säule einer Hochschule nutzt deren Profilbildung. Im Gegensatz zur klassischen Profilbildung, beispielsweise im Rahmen der Entwicklung einer CI-Strategie, geht es im Falle der „Third Mission“ nicht um Profilbildung durch unverwechselbare Alleinstellungsmerkmale oder den konkreten USP. Hier kann kein Ziel erreicht werden, der Weg selbst ist das Ziel.

Die Art und Weise, wie Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft gestaltet wird – und manchmal bereits die Tatsache, dass ein solcher Transfer überhaupt erwogen wird –, bildet das Profil einer Hochschule mit. Erweist sie sich als treibende Kraft, als verlässlicher Partner, der Weiterentwicklung unterstützt, sich selbst einbringt und auch selbst weiterentwickelt? Kann sie Studierenden, Unternehmen sowie Bürgerinnen und Bürgern helfen, positiv mit Veränderungen und Disruptionen umzugehen? Kann sie angesichts der Vielfältigkeit ihrer Aufgaben eine Hochschulfamilie bleiben – wie es ja insbesondere bei der OTH Amberg-Weiden der Fall ist?



Abbildung 2: Ideen darstellen – gern auch mal als Baustein-Prototyp

TRIO – Zwischen Kooperation und Nabelschau

Um die dritte Säule zu stärken, haben die ostbayerischen Hochschulen und Universitäten beschlossen, im Verbund den Status quo zu analysieren, Möglichkeiten für Weiterentwicklungen zu fördern, Chancen für weitgehende gemeinsame Umsetzungen zu entdecken und vor allem konkrete Maßnahmen umzusetzen. [2]

Kurz gesagt geht es darum, mehr und effektiver mit Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU) und gesellschaftlichen Akteuren zusammenzuarbeiten, dabei auf Hochschulebene besser zu kooperieren und die Innovationskraft der Region Ostbayern strukturell zu stärken.

Schon das gemeinsame und zum Teil gegenseitige Abprüfen stellt die Kooperationsbereitschaft und -fähigkeit jedes Verbundmitglieds auf die Probe. Immerhin sind die Hochschulen mit ihren Forscherinnen und Forschern vernünftigerweise auch Konkurrenten. Wenn sich die TRIO-Mitglieder Unternehmen, die bisher noch keinen Kontakt zu Hochschulen hatten, vorstellen und über Möglichkeiten zur Zusammenarbeit und den daraus folgenden Vorteilen sprechen, schwingt immer ein gewisses „Platzhirschen“ durch. Andererseits zeigt sich schon in dieser frühen Phase, dass die ostbayerische Hochschullandschaft durch den gemeinsamen Auftritt eindeutig profitiert. Immerhin ist das Ziel, hinsichtlich Breite und Tiefe des Angebots mit den Platzhirschen aus den Metropolen mitzuhalten.

Zudem haben die Partner spezifische und damit sehr unterschiedliche Strukturen aufgebaut, die letztlich die jeweilige Größe und vor allem Personalsituation widerspiegeln. Abwicklung und Verwaltung von Forschungsvorhaben – egal ob öffentlich oder privatwirtschaftlich finanziert – finden ihren Rahmen in gesetzlichen Regelwerken. Trotzdem „leben“ die Hochschulen ihre Partnerschaften mit der Wirtschaft unterschiedlich. Auch hier muss das TRIO-Projekt über Vergleiche und Analysen dazu kommen, das richtige Maß zwischen Harmonisierung und individueller Passung zu finden, welches – und dies ist der Maßstab – den Verwaltungen ihre Tätigkeit vereinfacht und Unternehmen konsistente Bedingungen bietet.

Der gemeinsame Blick ist darauf gerichtet, Kooperationsmöglichkeiten für die Hochschulen selbst zu identifizieren. Gleichzeitig kommt es zur Nabelschau. Die eben positiv sein kann, wenn sie hilft, Raum für die eigene Weiterentwicklung zu erkennen und das selbstbewusste Zusammenarbeiten mit den anderen Partnerhochschulen ermöglicht. Die „Innovative Hochschule“ muss auch nach innen wirken, soll die Position der konkreten Hochschule (wie im Weiteren des Verbundes) im regionalen Innovationssystem gestärkt werden.



Der Name ist Programm: machbar Innovationslabor.

Möglichkeiten und Grenzen einer Versuch-und-Irrtum-Strategie

Die analytischen und strategischen Anteile des Projektes TRIO sind wichtig, doch stehen die konkreten Maßnahmen im Vordergrund. Wer wissen will, warum KMU bisher nicht auf die Idee gekommen sind, mit „ihrer“ Hochschule vor Ort zusammenzuarbeiten, muss ins Gespräch kommen. TRIO fragt also nach, erklärt die Bereitschaft der Hochschulen zur Zusammenarbeit und versucht, konkrete Schritte von der Bachelorarbeit bis zum Forschungsprojekt anzubahnen.

Um die vielfältigen Projekte der Hochschulen und gelungene Kooperationen mit Unternehmen einer noch breiteren Öffentlichkeit bekannt zu machen, muss die Wissenschaftskommunikation ausgebaut werden. TRIO bemüht sich nicht nur durch ein eigenes Transfer-Magazin [3] und jährliche Transfer-Konferenzen [4], den ostbayerischen Innovationsraum greifbarer zu machen. Auch vor Ort und in Gemeinschaftsveranstaltungen mit Partnern wie den Kammern oder den BayernLabs [5] werden neue Ideen ausprobiert, wie Wirtschaft und Gesellschaft angesprochen und für einen aktiven Dialog gewonnen werden können.

Am deutlichsten zeigt sich der explorative Charakter des TRIO-Projektes, wenn es um den Aufbau nachhaltiger Transfer- und Innovationsstrukturen in der Region geht. Innovationslabore sollen Formate, Methoden, Technologien und Services nach dem Bedarf in der Region Ostbayern bereitstellen, erproben, weiterentwickeln und etablieren. [6] Wie das *machbar Innovationslabor*, das am Weidener Technologie-Campus aufgebaut und betrieben wird, wurde im Forschungsbericht 2019 der OTH Amberg-Weiden bereits dargestellt. [7]

Das Vorgehen begründet sich im wissenschaftstheoretischen Ansatz des kritischen Rationalismus, nach welchem Erkenntnisfortschritt auf dem Falsifizieren von Hypothesen beruht. Und auch die in den Innovationslaboren angewandte Technik des Design Thinking, ein Methodenmix, erkennt die erkenntnistreibende Kraft des Scheiterns an, indem in Innovationsprozessen immer wieder frühes Scheitern geradezu herausgefordert wird.

Nun können eine Hochschule als Ganzes bzw. die einzelnen Forschenden wiederholtes Scheitern positiv bewerten. Unternehmen jedoch erwarten brauchbare, d. h. produzier- und vermarktbar Ergebnisse. Auch gesellschaftliche Gruppen, die konkrete Probleme lösen müssen, haben nicht immer Verständnis dafür, dass Ansätze immer und immer wieder im Nichts enden. Die Versuch-und-Irrtum-Strategie, die im TRIO-Projekt angewandt wird, hat also nachvollziehbare Grenzen.

Letztlich werden sich die Partner auf eine Definition des Transfer-Prozesses einigen müssen, welches den Wunsch nach tiefstgehendem Verständnis mit bestmöglicher Umsetzbarkeit verbindet. Dazu gehört es, Begrenzungen anzuerkennen und (wechselseitige) Enttäuschungen zu vermeiden. Was im konkreten Einzelfall eines Projektes hervorragend funktioniert, kann bei gesellschaftlichen Fragestellungen und besonders bei der Erkundung von „Neuland“ zu Komplikationen führen.



Abbildung 3: Das Wichtigste bei kreativen Lösungen: Testen, testen, testen. Grundfunktionen und Handhabbarkeit können schon an selbstgebauten Prototypen getestet werden.

Stand und Ausblick

Das TRIO-Verbundprojekt hat in seiner Startphase einen erheblichen Abstimmungsbedarf zwischen den Projektpartnern sowie in den einzelnen Häusern selbst zu Tage gefördert. Mehr und mehr Stellen der Verwaltungen wurden darin einbezogen, mehr und mehr Professorinnen und Professoren wurden gebeten, sich ebenfalls einzubringen, mehr Transfertätigkeiten zu entwickeln, externe Partner wurden zur Zusammenarbeit animiert. Das hat zu einer relativen Bekanntheit des Projektes beigetragen – und wohl auch da und dort der Entwicklung eines bestimmten „Rufes“ Vorschub geleistet. Doch Nachfragen und hinterfragen gehört eben zu den Aufgaben des Projektes und wird mittlerweile auch von den „Strukturen“ als Möglichkeit zur Reflexion begrüßt.

Denn mittlerweile zeigen sich erste Erfolge. Besonders erfreulich ist, dass die Hauptzielgruppe der Kleinen und Mittleren Unternehmen sehr aufgeschlossen reagiert und tatsächlich konkrete Projekte ins Laufen kommen. Auch von zivilgesellschaftlichen Akteuren gibt es positive Rückmeldungen. Ohne einem unangemessenen Optimismus zu verfallen, darf die Hoffnung geäußert werden, dass das Ziel eines weiter ausgebauten regionalen Transfergeschehens tatsächlich erreichbar ist. Mittelfristig könnte sich auch die Art und Weise, wie die Hochschulen der Region wahrgenommen werden, verändern. Und diese Veränderungen wirken dann auch auf die Arbeitsfelder und Arbeitsweisen der OTH Amberg-Weiden zurück.

Referenzen:

- [1] Verwaltungsvereinbarung Innovative Hochschule <https://www.gwk-bonn.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Papers/Verwaltungsvereinbarung-innovative-Hochschule-2016.pdf>
- [2] Zu den einzelnen Vorhaben vgl. <https://www.transfer-und-innovation-ostbayern.de/verbundvorhaben/>
- [3] <https://www.transfer-und-innovation-ostbayern.de/trio-forum/transfermagazin-triolog/>
- [4] <https://www.transfer-und-innovation-ostbayern.de/trio-forum/veranstaltungskalender/veranstaltung/transferkonferenz-triokon/>
- [5] <https://www.ldbv.bayern.de/digitalisierung/bayernlab.html>
- [6] <https://www.transfer-und-innovation-ostbayern.de/verbundvorhaben/transfer-und-innovationsstrukturen/>
- [7] https://www.oth-aw.de/files/oth-aw/Aktuelles/Veroeffentlichungen/Forschungsbericht/OTH_Amberg_Weiden_FB_2019_Internet.pdf

Fördergeber:

**Innovative
Hochschule**



EINE GEMEINSAME INITIATIVE VON

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Gemeinsame
Wissenschaftskonferenz
GWK

Kontakt:



Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Dekan
Leitung Institut für Medizintechnik (IfMZ),
Studiengangsleiter und Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de



Dr. Wolfgang Weber

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Leitung Grundsatzangelegenheiten
und Hochschulentwicklung
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

w.weber@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Alfred HöB

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Vizepräsident Forschung und
Technologietransfer,
wissenschaftlicher Nachwuchs
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.hoess@oth-aw.de



Marina Dötterl, M.Eng.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.doetterl@oth-aw.de



Anna Hautmann, M.Sc.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

a.hautmann@oth-aw.de



Christine Katharina Raps, M.Sc.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.raps@oth-aw.de



Karina Schuller, M.Sc.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

k.schuller@oth-aw.de



Dr. Matthias Schöberl

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.schoeberl@oth-aw.de

Evaluation eines Inverted Classroom Konzeptes

Prof. Dr. Horst Rottmann
Christoph Voit, Dipl.-Betriebswirt

Zusammenfassung

Im Rahmen der Vorlesung „Volkswirtschaftslehre und -politik“ hat die Fakultät Betriebswirtschaft der OTH Amberg-Weiden ein Projekt gestartet, um die Wirkungen einer neuen Lernplattform auf das Studienergebnis zu untersuchen. In Verbindung mit der Implementierung der Lernplattform erfolgte auch eine Anpassung des Veranstaltungskonzeptes, wobei jedoch grundlegende Elemente wie Inhalte und die Gestaltung der Klausur konstant gehalten wurden. Der wesentliche konzeptionelle Unterschied zur traditionellen Veranstaltungsform besteht darin, dass die Studierenden die Inhalte zunächst in Eigenregie erlernen und einüben. Erst danach findet jeweils die Präsenzveranstaltung statt.

Ausgangspunkt für die Veränderung war insbesondere das Ziel, die Studienergebnisse der Veranstaltung zu verbessern. Dahinter stehen Idee und Hoffnung, dass sich die Studierenden regelmäßig mit der Materie auseinandersetzen und diese besser verstehen, wenn sie sich die Inhalte zunächst selbst aneignen und dabei ihrem individuellen Lernrhythmus nachgehen können. Unterstützt werden soll dieser Prozess durch zahlreiche Übungsmöglichkeiten.

Folgender Bericht geht dabei näher auf das Projekt ein und stellt daraus resultierende Evaluationsergebnisse vor.

Abstract

The faculty of business administration at OTH Amberg-Weiden started a project within the lecture “Economics and Economic Policy” to examine the effects of a new learning management system on the study results. Along with the implementation of the learning management system an adjustment of the lecture concept has been incorporated as well, even though basic elements like content and layout of the exam have not been changed. The essential conceptual difference towards the traditional form of lecture is that the students initially learn and practice the contents autonomously. After that the relevant lecture takes place.

The main reason for the change was to improve the study results of the lecture. The intention is that the students will continuously deal with the topic and improve their understanding of it when they first acquire it. Therefore, students will be able to accomplish their own learning rhythm. This process shall be supported by the numerous practice possibilities.

The following report will respond to the project more closely and will depict the outcoming evaluation results.

1 Einleitung

In Kooperation mit dem Pearson Verlag hat Horst Rottmann an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden ein deutschlandweit bisher einmaliges Pilotprojekt für den Test einer verlagsentwickelten Lernplattform im Bereich der Wirtschaftswissenschaften

gestartet. Ziel ist es, die Studienergebnisse der Veranstaltung Volkswirtschaftslehre und -politik zu verbessern. Hier kommt die von Pearson entwickelte digitale Lernumgebung „MyMathLab“ pilotmäßig im Teil Arbeitsmarkt und Wachstum (AW) zur Anwendung und wird auf ihre Wirkungen in der Lehre evaluiert.

Die Veranstaltung Volkswirtschaftslehre und -politik (VWL II) gliedert sich inhaltlich in zwei gleichgewichtige Teile: Geldtheorie und Geldpolitik (GG) bei Franz Seitz sowie Arbeitsmarkt und Wachstum (AW) bei Horst Rottmann. Den Abschluss bildet eine Gesamtklausur, die zu je 50 Prozent aus Inhalten beider Teile besteht. Wie die Betrachtung vergangener Semester ergibt, sind in VWL II relativ hohe Durchfallquoten und ein höherer Anteil an schlechten Noten zu beobachten. Aufgrund dieser Tatsache entstand die Idee, eine Veränderung vorzunehmen und anschließend deren Wirkung zu prüfen. So startete Horst Rottmann im Sommersemester 2017 das Pilotprojekt in Form eines Quasi-Experiments. [1]

2 Methodischer Ansatz zur Ermittlung des Maßnahmeneffektes

Ziel der Evaluations- und Wirkungsforschung ist es, nach Möglichkeit die kausalen Effekte einer Maßnahme zu schätzen. Dies bedeutet, dass zusätzlich zu den Ergebnissen vor und nach der Intervention Informationen darüber notwendig sind, ob und inwieweit eine potenzielle Veränderung der Zielgröße auf die Maßnahme zurückzuführen ist. Um den Erfolg der Maßnahme in VWL II zu belegen, müsste somit eine Verbesserung der Studienergebnisse vorliegen und die Maßnahme ursächlich dafür sein.

Da es im konkreten Fall nicht möglich ist, eine kontrafaktische Situation herzustellen, bei der die Zielgröße einmal im Falle der Maßnahmendurchführung und einmal ohne Vornahme der Maßnahme bei derselben Personengruppe und im selben Zeitpunkt gemessen werden kann, wird ein Kontrollgruppenkonzept verwendet. Die Behandlungsgruppe erhält dabei die Maßnahme, die Kontrollgruppe jedoch nicht. Außer in Bezug auf die Maßnahmenteilnahme sollen sich beide Gruppen im Optimalfall in keinen relevanten Eigenschaften unterscheiden. In der Praxis stellt man darauf ab, dass sich beide Gruppen mit hoher Wahrscheinlichkeit gleichen, wenn die Teilnahme der Studierenden an der Studie sowie die Zuordnung zu Behandlungs- und Kontrollgruppe rein zufällig erfolgt.

Eine vollständige Randomisierung ist jedoch im laufenden Hochschulbetrieb nicht durchführbar und ebenso wenig vertretbar. Durch die tatsächlichen Gegebenheiten im Hochschulbereich besteht aber dennoch eingeschränkt eine gewisse Zufälligkeit hinsichtlich der Zusammensetzung der Studiengruppen. So wurden für die Untersuchungen einige identifizierende Annahmen getroffen.

- Die Zufälligkeit bei der Zusammensetzung der Behandlungs- und Kontrollgruppe sei dadurch näherungsweise erfüllt, dass sich weder die Studierenden bewusst für oder gegen eine Maßnahmenteilnahme entscheiden konnten, noch der Dozent einen Einfluss darauf hatte, welche Studierenden die Veranstaltung

zu welchem Zeitpunkt belegen. Dies war dadurch gewährleistet, dass den Studierenden die Maßnahme im Vorfeld nicht bekannt gegeben wurde.

- Als zweite identifizierende Annahme gilt, dass Behandlungs- und Kontrollgruppe nahezu gleichen Bedingungen unterliegen und sich annähernd in relevanten Eigenschaften gleichen.
 - o Im untersuchten Zeitraum wurden außer der Maßnahmeneinführung bei der Veranstaltung nahezu alle Faktoren, wie Inhalte und Klausurgestaltung, konstant gehalten.
 - o Potenziell intervenierende Faktoren konnten im Wesentlichen ausgeschlossen werden.

Weitere identifizierende Annahmen hängen direkt mit dem konkreten Anwendungsfall des Differenz-von-Differenzen-Ansatzes (DDA) zusammen und werden an entsprechender Stelle angeführt.

2.1 Methodik in Bezug auf die Erfolgsgröße Studienergebnisse

Die Prüfung der Maßnahmenwirkung auf die Studienergebnisse erfolgt auf verschiedene Weise. Allen Untersuchungen im Hinblick auf die kausalen Beziehungen zwischen Maßnahme und der Erfolgsgröße Studienleistungen liegt jedoch der DDA zu Grunde. Für beide Varianten des DDA ist es von Bedeutung, dass die Maßnahmeneinführung im Jahr 2017 nur in Arbeitsmarkt und Wachstum erfolgte. Die Studiengruppe des Jahrgangs 2016 betrachten wir in beiden Fällen als Kontrollgruppe, wobei für die erste Anwendung des DDA zudem wichtig ist, dass der Teil Geldtheorie und Geldpolitik in beiden Jahren in der traditionellen Form abgehalten wurde.

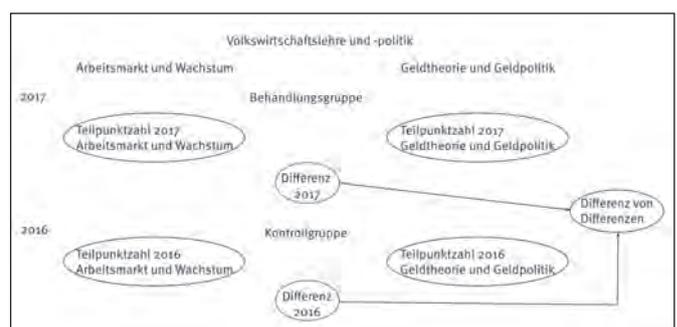


Abbildung 1: Differenz-von-Differenzen-Ansatz – erste Anwendungsvariante

Da beide Teile der Veranstaltung VWL II im selben Semester absolviert werden müssen, können für jeden Klausurteilnehmer im Jahr 2017 die erzielten Punkte in den Teilen AW und GG beobachtet werden. Selbiges gilt für die Kontrollgruppe (2016).

Ganz konkret wird im ersten Anwendungsfall des DDA davon ausgegangen, dass sich die Klausur-Teilpunktzahl in Arbeitsmarkt und Wachstum ohne die Maßnahme in etwa

vergleichbar stark verbessert oder verschlechtert hätte, wie im Teil Geldtheorie und Geldpolitik. Dies ist auch die dritte identifizierende Annahme dieses Ansatzes.

In einem ersten Schritt berechnen wir die mittlere Differenz der individuellen Klausur-Teilpunktzahlen zwischen AW und GG im Sommersemester 2017. Im Anschluss wird die entsprechende Differenz für 2016 errechnet. Auf Basis dieser Werte ermitteln wir die Differenz der beiden mittleren Differenzen. Diese dient als erster Schätzwert, anhand dessen man die Wirksamkeit der Maßnahme mit einem Zweistichprobentest zu beurteilen versucht.

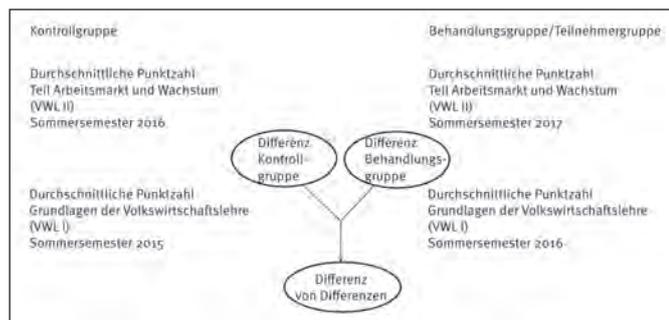


Abbildung 2: Differenz-von-Differenzen-Ansatz – zweite Variante

Bei der zweiten Variante des DDA verwenden wir zusätzlich die Informationen über das Leistungsniveau der Studierenden im Fach „Grundlagen der Volkswirtschaftslehre“ (VWL I). Hierbei wird als dritte identifizierende Annahme zugrunde gelegt, dass der Leistungsunterschied, der zwischen Arbeitsmarkt und Wachstum und der Veranstaltung VWL I besteht, ohne die im Sommersemester 2017 durchgeführte Maßnahme für beide Studienkohorten gleich wäre (siehe Abbildung 2). Ist der Leistungsunterschied signifikant unterschiedlich, so könnte dieser Effekt der eingeführten Maßnahme zuzuschreiben sein.

Zur Umsetzung der Untersuchung werden Klausurergebnisse in AW 2017 jeweils mit den individuellen Leistungen der Studierenden in der Grundlagenveranstaltung VWL I verknüpft. Selbiges Vorgehen erfolgt für die Studierenden in AW 2016. Auf dieser Basis lässt sich jeweils die mittlere Differenz aus der Punktzahl in AW und VWL I errechnen. Darauf aufbauend kann der Zweistichprobentest erfolgen. Signifikant unterschiedliche Mittelwertdifferenzen deuten dabei auf einen Maßnahmeneffekt hin.

2.2 Ausschluss potenziell intervenierender Faktoren

Um aussagekräftige Ergebnisse zu gewährleisten war es Bestandteil der Studie, unerwünschte Einflussfaktoren auf den gemessenen Maßnahmeneffekt soweit wie möglich zu beurteilen. Hierfür untersuchen wir inwieweit ein potenziell unterschiedlicher Arbeitsaufwand sowie Schwierigkeitsgrad in den betrachteten Jahren unerwünschte Einflüsse auf den gemessenen Maßnahmeneffekt haben und ob Teilnehmergruppe und Kontrollgruppe

hinsichtlich ihrer Vorbildung vergleichbare Voraussetzungen für VWL II aufweisen (für eine ausführliche Darstellung vgl. Rottmann/Voit 2019).

3 Ergebnisse im Hinblick auf die Studienergebnisse

Wie der Vergleich der Studienergebnisse in Abbildung 3 zunächst verdeutlicht, erreichen die Studierenden im untersuchten Zeitraum im Durchschnitt mehr Punkte über den Teil AW als im Teil GG. Diese Erkenntnis trifft jedoch schon für das Sommersemester 2016 zu, also auch für die Kontrollgruppe.

	SS17			SS16		
	ges.	AW	GG	ges.	AW	GG
N	145			106		
mean(Punkte)	22,68	14,01	8,67	22,69	12,01	10,68
mean(Δ AW-GG)		5,34 (0,48)			1,33 (0,45)	
Δ mean(Δ)		4,01 (0,66)				
Testgröße	6,12 \rightarrow signifikanter Unterschied von mean(Δ AW-GG) zwischen SS 17 und SS 16					

Abbildung 3: Differenz von Differenzen: AW – GG (Standardfehler jeweils in Klammern)

Betrachtet man im nächsten Schritt die Differenzen aus den Teilen AW und GG, so ergibt sich für das Sommersemester 2017 und somit für das Semester der Maßnahmeneinführung eine mittlere Differenz der Teilpunkte von 5,34. Im Sommersemester 2016 beträgt dieser Unterschied 1,33 Punkte. Damit liegt ein Anstieg dieser Differenz um 4,01 Punkte vor. Da der Wert der Prüfgröße mit 6,12 deutlich über der kritischen Schwelle von 2,58 liegt, ist der Anstieg der Punktedifferenz selbst beim 1%-Niveau signifikant.

Der zweite Test, bei dem für Behandlungs- und Kontrollgruppe die Punktzahldifferenzen aus Grundlagen der Volkswirtschaftslehre und Arbeitsmarkt/Wachstum verglichen werden, liefert folgende Ergebnisse:

	Differenz AW – VWL I	VWL II AW	VWL I ges.	Differenz AW – VWL I	VWL II AW	VWL I ges.
	SS17 – SS16	SS17	SS16	SS16 – SS15	SS16	SS15
N	87			71		
mean(Punkte)		58,39	46,89		49,07	50,30
mean(Δ)	11,50 (2,79)			-1,23 (2,63)		
Δ mean(Δ)	12,73 (3,84)					
Testgröße	3,32 \rightarrow signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenzen (mean(Δ)) AW SS 17 – VWL I SS 16 und AW SS 16 – VWL I SS 15					

Abbildung 4: Differenz von Differenzen: AW – VWL I

Wie Abbildung 4 zu entnehmen ist, kann bei 87 Studierenden der Teilveranstaltung Arbeitsmarkt und Wachstum im Sommersemester 2017 die Klausurpunktzahl aus VWL I den Ergebnissen aus AW gegenübergestellt werden. Entsprechendes gelang bei 71 Studierenden von AW im Sommersemester 2016. So ergibt sich eine mittlere Klausurpunktzahl für AW im Sommersemester 2017 von umgerechnet 58,39 Punkten und für VWL I von 46,89 Punkten. Die mittlere Differenz aus AW und VWL I beträgt damit 11,50 Punkte. Für diejenigen Studierenden, die im Sommersemester 2016 an VWL II teilnahmen, lässt sich eine mittlere Differenz der erreichten Punktzahl aus AW und VWL I von -1,23 feststellen. Die Differenz der mittleren Differenzen liegt damit bei 12,73. Die Mittelwert-Differenzen unterscheiden sich signifikant auf dem 1%-Niveau.

Insgesamt deuten die Ergebnisse der beiden durchgeführten Signifikanztests darauf hin, dass die verbesserten Studienergebnisse im Teil Arbeitsmarkt und Wachstum auf die Einführung der Lernplattform und des Inverted Classroom Konzeptes zurückzuführen sein könnten. Für die Annahme, dass die Maßnahme selbst zu der Ergebnisverbesserung geführt hat, sprechen auch die sonstigen Evaluierungsergebnisse im Sommersemester 2017 (vgl. Rottmann/Voit 2019).

4 Statistische Annahmen

Erkenntnisse darüber, ob potenziell intervenierende Faktoren unerwünschten Einfluss auf den gemessenen Maßnahmeneffekt ausüben, liefern verschiedene Stichprobentests. Im Ergebnis zeigt sich, dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit weder durch einen unterschiedlichen Arbeitsaufwand oder Anspruch noch durch eine unterschiedliche Vorbildung der Studierendenkohorten Einflüsse auf den gemessenen Maßnahmeneffekt gibt. Für die Ergebnisse in diesem Bericht gilt die Annahme, dass keine statistischen Verzerrungen bei der Durchführung des Quasi-Experiments vorliegen (für eine ausführliche Darstellung vgl. Rottmann/Voit 2019).

5 Ergebnis / Zusammenfassung / Ausblick

Die bisherigen Untersuchungen geben Anlass zur Hoffnung, dass sich die Einführung der neuen Lernumgebung und des Inverted Classroom Konzeptes positiv auf die Studienergebnisse im Teil Arbeitsmarkt und Wachstum auswirken. Darauf deuten jedenfalls die Ergebnisse der statistischen Tests sowie die Studienleistungen im Sommersemester 2017 hin. Aktuell lässt sich die tatsächliche Wirkung in ihrem Umfang allerdings noch schwer einschätzen, da der gemessene Maßnahmeneffekt derzeit noch über- oder unterbewertet sein könnte.

Referenzen:

- [1] Dieser Aufsatz beschreibt kurz die Vorgehensweise, verwendeten Methoden und diskutiert die wesentlichen Ergebnisse. Hinsichtlich weiteren Informationen zur verwendeten Methodik, der Literatur und den Ergebnissen verweisen wir auf eine längere Version (vgl. Rottmann, H. und Voit, C., Evaluation eines Inverted Classroom Konzeptes in der makroökonomischen Lehre, Weidener Diskussionspapiere Nr. 70, 2019).

Kontakt:



Prof. Dr. Horst Rottmann

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Betriebswirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

h.rottmann@oth-aw.de



Christoph Voit, Dipl.-Betriebswirt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Betriebswirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.voit@oth-aw.de

Entwicklung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsstrategie der Hochschule unter Berücksichtigung von Stakeholdergruppen – Das Stimmungsbarometer an der OTH Amberg-Weiden

Alexander Herzner, M.Sc.
Dipl.-Ing. Dita Hommerová, Ph.D, MBA
Katharina Braun, B.A.

Zusammenfassung

Um Wirksamkeit von Nachhaltigkeitsaktivitäten prüfen zu können, müssen die Aktionen an die Erwartungen von Stakeholdergruppen ausgewogen und berücksichtigt werden. Entlang des Student Life Cycle zielt die OTH Amberg-Weiden auf die stetige Verbesserung zur Umsetzung der UN PRME Principles ab. Dafür sind die Erwartungen und Wahrnehmungen der Studierenden ein elementarer Baustein. An der OTH Amberg-Weiden wurde aus diesem Grund eine Umfrage im innovativen und ansprechenden Design eines Stimmungsbarometers durchgeführt. Dieser Forschungsbeitrag zeigt die Antworten und Ergebnisse als neue Impulse für die Nachhaltigkeitsorientierung der Hochschule.

Abstract

Measuring the effectiveness of sustainability activities, the activities has to fulfill the expectations of stakeholder groups in a balanced way. Along the student life cycle the OTH Amberg-Weiden is continuously improving the implementation of the UN PRME principles. For that the expectations and perception of the students is crucial. The OTH Amberg-Weiden starts an innovative survey approach called "Stimmungsbarometer". This paper discusses the results for new input to the sustainability strategy of the university.

1 Einleitung

Nachhaltigkeit wird als ein Querschnittsthema gesehen, welches alle Bereiche von Hochschulen umfasst. Im Bereich **Forschung** werden die vielschichtigen Herausforderungen einer umwelt- und sozialverträglichen Entwicklung, wie ressourcengerechtes und klimaverträgliches Handeln, adressiert, wobei sich auch neue Formen der Zusammenarbeit wissenschaftlicher Disziplinen anbieten. In der **Lehre** bedarf es weiterer Anreize, fachübergreifende Formate zu implementieren. Zudem sei es erforderlich, dass **Nachhaltigkeit nicht nur Teil des Ressourcenmanagements, sondern der jeweiligen Hochschulkultur werde** (Nachhaltige Hochschule, 2017).

Die OTH Amberg-Weiden zählt zu den Erstunterzeichnern des PRME Chapters für den deutschsprachigen Raum (offiziell: UN PRME Chapter DACH). Das Bündnis für Ethik und Nachhaltigkeit wurde als offizielles Projekt der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgezeichnet.

Die OTH Amberg-Weiden war die erste angewandte Hochschule in Bayern und bundesweit die zehnte Hochschule, die den Titel "Fairtrade University" verliehen bekam und damit Anerkennung für ihr Engagement erhielt. Nun wurde die OTH Amberg-Weiden erfolgreich für weitere zwei Jahre rezertifiziert.

Die OTH Amberg-Weiden zählt zu den ausgewählten bayerischen Pilothochschulen des Projektes „Nachhaltige Hochschule: Kriterien zur Bestandsaufnahme“. Das Ziel des Projektes bestand in der Entwicklung eines Kriterienkatalogs zu Nachhaltigkeitsaspekten an Hochschulen sowie in der Identifizierung von Faktoren, die Hochschulen bei der Implementierung von Nachhaltigkeit unterstützen bzw. hemmen. Beispielhaft für andere Hochschulen entwickelte das Forscherteam gemeinsam mit der Universität Bayreuth, der OTH Amberg-Weiden, der Technischen Hochschule Deggen-dorf und der Hochschule Neu-Ulm Kriterien für Nachhaltigkeit in den Bereichen **Forschung, Lehre, Betrieb, Governance, Transfer und Studierende**. Alle Pilothoch-

schulen fühlten sich durch das „KriHaNoBay“- Projekt gestärkt, den Weg hin zu einer nachhaltigeren Hochschule weiter fortzusetzen. Sie nannten verschiedene Aspekte, die sie derzeit daran hindern, ihrem Selbstverständnis von Nachhaltigkeit besser gerecht zu werden. So konstatieren die Hochschulen gegenwärtig einen Mangel an Fachpersonal, fehlende Förderprogramme sowie einen noch zu geringen Stellenwert von Nachhaltigkeit auf politischer Ebene. Daher wollen die sechs Hochschulen weiterhin eng kooperieren, um voneinander zu lernen und gemeinsam die Rahmenbedingungen für mehr Nachhaltigkeit an bayerischen Hochschulen zu stärken.

Um diese ganzen Aktivitäten der nachhaltigen Hochschule OTH Amberg-Weiden stärken zu können, wurde eine interne Umfrage durchgeführt und ausgewertet. Als Zielgruppe dienten Mitarbeitende und Studierende, wobei der Fokus auf den Studierenden lag. Denn gerade die Studierenden haben einen großen Einfluss auf die Wahrnehmung der Hochschule in der Öffentlichkeit, und es sind auch diejenigen, die die Organisationskultur mitgestalten.

Auf dem „Stimmungsbarometer“ konnten sie zwei Wochen lang (4. April bis 15. April 2019) Feedback geben und Wünsche äußern. Die Ergebnisse fließen in die Nachhaltigkeitsstrategie der Hochschule ein.



Abbildung 1: Studierende am Stimmungsbarometer an der OTH AW in Weiden

Dafür wurden zentrale Standorte gewählt, die in den Laufwegen der Studierenden liegen. Am Campus in Weiden war das Stimmungsbarometer vor der Bibliothek, am Campus in Amberg im Eingangsbereich der Mensa platziert.

2 Methodische Vorgehensweise

Das Stimmungsbarometer dient der Zwischenbilanz sowie der Auswertung bisheriger Strategien und der Verbesserung dieser. Mithilfe dieser Methode ist es möglich, die Befindlichkeiten in einer Gruppe sichtbar und damit auch kommunizierbar zu machen.

Stimmungsbarometer

Ihr seid gefragt! Wir möchten erfahren, was Euch wichtig ist. Welche Themen sind relevant? Wo besteht Handlungsbedarf? Helft uns dabei und markiert Eure Antwort mit einem Punkt.

1. Wärt Ihr bereit, ein Elektrofahrrad oder Carsharing zu nutzen (oder seid Ihr schon Benutzer)?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

2. Würdet Ihr das Angebot an nachhaltigen Lebensmitteln (FairTrade, Bio-Produkte, regionale Hersteller) in der Mensa bevorzugen, auch wenn in manchen Fällen der Preis für Euch höher wäre?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

3. Wärt Ihr bereit (oder achtet Ihr schon darauf), auch auf dem Campus Maßnahmen zur Energieersparnis voranzutreiben (Licht ausschalten, wenn man aus dem Raum geht; Wasser richtig schließen; etc.)?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

4. Möchtet Ihr euch im Rahmen von Lehrveranstaltungen noch eingehender mit dem Thema „Nachhaltigkeit“ beschäftigen?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

5. Würdet Ihr gerne an gemeinnützigen Lernprojekten teilnehmen?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

6. Würdet Ihr Euch, unabhängig von anderen Faktoren, für ein Studium an einer nachhaltigen Hochschule entscheiden?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

7. Ist für Euch ein Angebot an Aufklärungsmöglichkeiten zu Ursachen und Vermeidung von Stress sowie ein Betreuungsangebot in schwierigen Situationen wichtig?

Ja	Eher ja	Eher nicht	Nicht
----	---------	------------	-------

8. Welche nachhaltigen Aktivitäten würdet Ihr Euch von der OTH Amberg-Weiden wünschen und auch unterstützen?

<ul style="list-style-type: none"> Nachhaltige Werbemittel (Flyer, Souvenirs, Werbartikel) Nachhaltige Büromaterialien (Papier, Stifte, usw.) 	<ul style="list-style-type: none"> Verhaltenskodex Campusmaßnahmen (Insektenhotel, Campus Gardening, uvm.)
---	--

9. Welche nachhaltigen Aktivitäten der OTH Amberg-Weiden nehmt Ihr wahr?

<ul style="list-style-type: none"> Fairtrade-Hochschule Zertifikat für Ethik- und Nachhaltigkeitsmanagement (ETHNA) EthikForum 	<ul style="list-style-type: none"> Studententag Themenspezifische Vorlesungen
---	---

10. Welchen Beitrag zur Nachhaltigkeit leistet Ihr bereits heute und würdet Ihr gerne konkret an der OTH Amberg-Weiden leisten? Schreibt Eure Antworten auf den Zettel und werft ihn in die Box. Vielen Dank.

Abbildung 2: Stimmungsbarometer für die Umfrage an der OTH Amberg-Weiden

Das **Stimmungsbarometer** (auch: **Stimmungskurve**) ist eine Reflexionsmethode. Es eignet sich für wiederholte Reflexionen in Gruppen, etwa nach jeder Einheit (Gruppenstunde/Heimstunde, Workshop-Einheit, etc.). Qualitativ hochwertige Antworten können nicht erwartet werden, sondern eben ein „blitzartiges“ Stimmungsbild der entsprechenden Einheit (Brauneck et.al. 1997; Klippert 2002).

Für das Barometer wird ein großer Papierbogen sowie Stifte benötigt, idealerweise steht für jeden Teilnehmer eine eigene Farbe zur Verfügung (Brauneck et.al. 1997; Klippert 2002).

Das Stimmungsbarometer ist eine Methode, die der Prozess- und/oder Ergebnisevaluation einer Bildungsveranstaltung dient. Diese Methode kann entsprechend in den unterschiedlichen Phasen eines Seminars (zu Beginn, zwischendurch, am Ende) eingesetzt werden (Brauneck et.al. 1997; Klippert 2002).

Die Skala des Stimmungsbarometers kann dabei sowohl horizontal als auch vertikal eingezeichnet werden. Zudem erfolgt eine Einteilung in drei verschiedene Grade, die „gut“, „neutral“ und „schlecht“ repräsentieren. Das lässt sich beispielsweise mit Ampelfarben und/oder moderner und Zielgruppen gerechter mit Smileys umsetzen.

Danach erhalten alle TeilnehmerInnen einen Klebepunkt, den sie entsprechend ihrer Gefühlslage platzieren. Anschließend wird das Stimmungsbarometer von der Trainerin/dem Trainer kurz kommentiert.

Außerdem besteht z. B. bei allgemeiner Unzufriedenheit natürlich die Möglichkeit für Rückfragen, um das Seminar wieder in die richtige Richtung zu lenken oder es wenigstens beim nächsten Mal besser zu machen.

Im vorliegenden Fall war der Erhebungszeitraum in der Zeit vom 4. April bis 12. April 2019. Die Autoren verfolgten folgende Ziele: 1. Sensibilisierung für eine nachhaltige(re) Entwicklung an der OTH Amberg-Weiden, 2. Aktivierung zum Nachdenken und Handeln, 3. Evaluation – Welche Themen sind den Zielgruppen bei einer nachhaltigen Entwicklung an der Hochschule wichtig.

Hierfür wurden Aufsteller mit Plakaten in Weiden vor der Bibliothek und in Amberg vor der Mensa platziert, auf denen die Studierenden ihre Stimme zu insgesamt zehn Fragen mit einem Stift eintragen konnten.

3 Ergebnisse

An der Befragung beteiligten sich in Weiden 84 TeilnehmerInnen, die 777 Antworten abgaben. In Amberg lag die Beteiligung bei 64 Teilnehmenden und 515 Antworten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Stimmungsbarometers beider Standorte der OTH Amberg-Weiden dargestellt.

Sowohl die befragten Studierenden in Weiden als auch in Amberg würden demnach nachhaltige Lebensmittel (Fair-Trade, Bio-Produkte, regionale Hersteller) in den Mensen bevorzugen. Auch wenn in manchen Fällen ein höherer Preis für diese Produkte zu entrichten wäre.

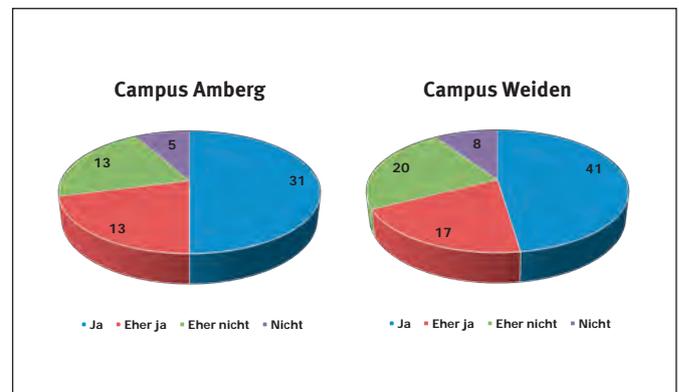


Abbildung 3: Bevorzugung nachhaltiger Lebensmittel

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der abgegebenen Stimmen. Bei 67,44 % der befragten Personen in Weiden und 70,97 % in Amberg würde ein breiteres Angebot an nachhaltigen Lebensmitteln Zuspruch finden.

Auf die Frage, ob der Wunsch nach einer noch eingehenderen Auseinandersetzung mit dem Thema Nachhaltigkeit im Rahmen von Lehrveranstaltungen besteht, herrscht keine einheitliche Meinung unter den Befragten in Weiden und Amberg vor (Abbildung 4).

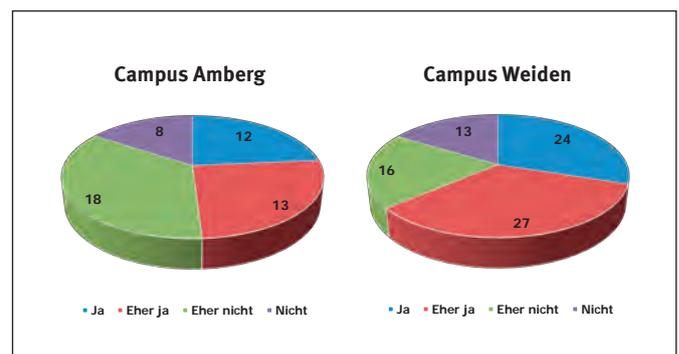


Abbildung 4: Wunsch nach noch stärkerer Integration des Themas Nachhaltigkeit

Während sich in Weiden über die Hälfte der Umfrageteilnehmenden eine Vertiefung des Themas wünschen würde (63,75 %), sind es in Amberg knapp weniger als die Hälfte (49 %).

Eine große Einigkeit besteht hingegen bei der Frage der Wichtigkeit von Aufklärungsangeboten, zu Ursachen und Vermeidung von Stress sowie einem Betreuungsangebot in schwierigen Situationen (siehe Abbildung 5).

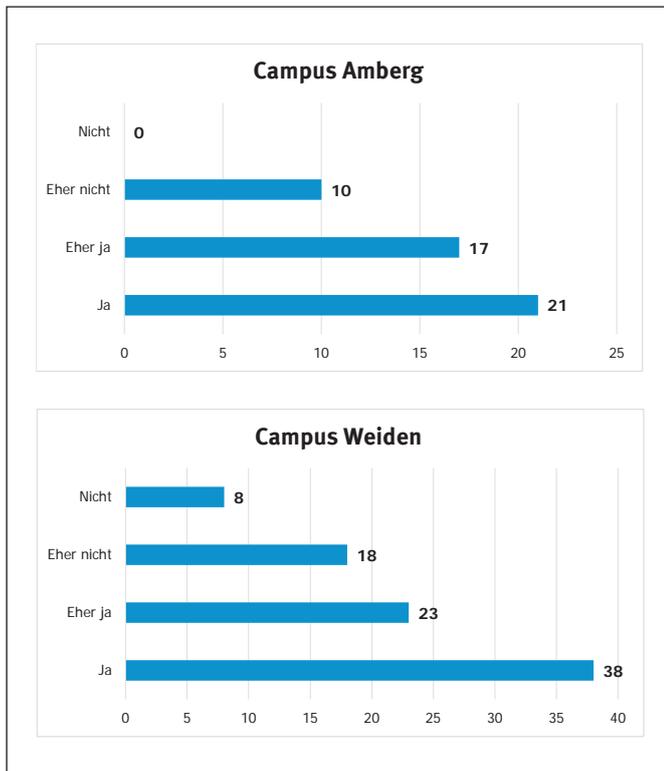


Abbildung 5: Wichtigkeit Aufklärungs- und Betreuungsangebote

In Weiden stimmen 70,11 % und in Amberg 79,17 % der befragten Studierenden der Wichtigkeit von Aufklärungs- und Betreuungsangeboten zu.

Auf die Frage, ob eine Teilnahme an gemeinnützigen Lernprojekten erfolgen würde, sind die Antworten relativ ausgeglichen. 54,79 % der befragten Weidener und 50 % der befragten Amberger, sprechen ein grundsätzliches Interesse an solchen Projekten aus (siehe Abbildung 6).

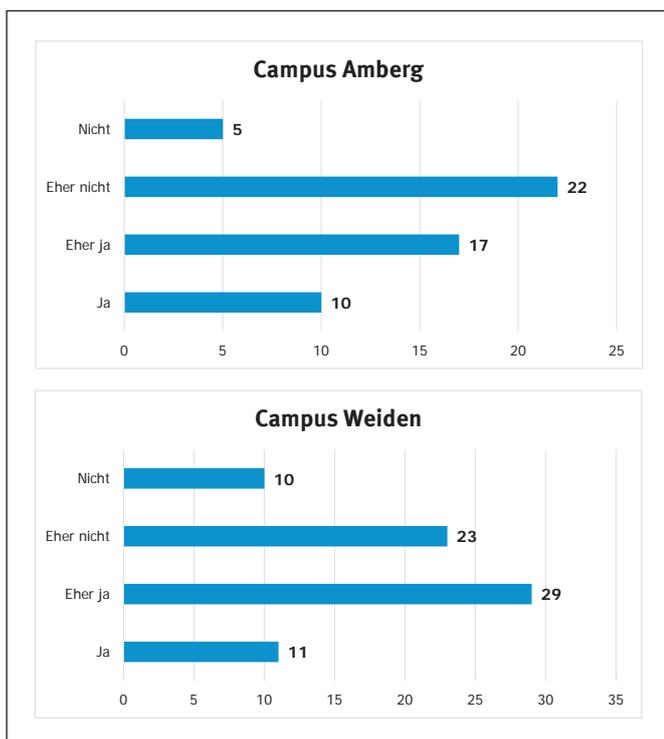


Abbildung 6: Interesse an gemeinnützigen Lernprojekten

Des Weiteren würden sich die Umfrageteilnehmenden nachhaltige Aktivitäten der OTH Amberg-Weiden, wie nachhaltige Werbemittel und Büromaterialien, einen Verhaltenskodex und Maßnahmen am Campus, wünschen und auch unterstützen. Abbildung 7 zeigt die Verteilung der abgegebenen Stimmen.

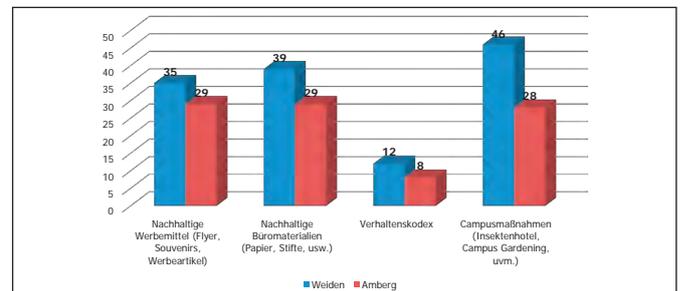


Abbildung 7: Wunsch nach nachhaltigen Aktivitäten der OTH Amberg-Weiden

4 Diskussion der Ergebnisse

Die Methode zeigt, welche Veränderungsimpulse im Bereich der Forschung, Lehre und Campus seitens der Hochschule von Studierenden und MitarbeiterInnen wahrgenommen und erwartet werden. Das Stimmungsbarometer bietet eine einfache und aktivierende Methode, Wahrnehmungen und Erwartungen abzufragen. Der Planungs- und Vorbereitungsaufwand ist im Vergleich zu standardisierten Fragebögen mit Versand gering und die Rücklaufquote akzeptabel.

Gleichwohl weist es in diesem Fall methodische Mängel auf. So sind doppelte Antworten möglich und das vorhandene Stimmungsbild beeinflusst das Antwortverhalten folgender TeilnehmerInnen. Da es nicht Ziel war, empirisch valide Zahlen zu generieren, sondern Stimmungen am Campus einzufangen, wurden diese Mängel akzeptiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bemühungen im Bereich Fairtrade auf hohe Zustimmung stoßen, auch wenn sich in der Mensa ein anderes Konsumverhalten nach fairen Produkten zeigt (Quelle: Gespräch mit der Küchenleitung am Standort Weiden). Dennoch will die OTH Amberg-Weiden neben dem Mindestangebot in Mensa und bei Gremiensitzungen zukünftig in noch mehr Büros und bei allen Veranstaltungen auf faire Produkte zurückgreifen. Eine entsprechende Aktion zur Sensibilisierung wurde bereits umgesetzt.

Ganz im Trend von „Fridays for Future“ liegt das Augenmerk bei den Studierenden in der Außendarstellung der OTH Amberg-Weiden. Nachhaltige Werbe- und Büromittel und der ressourcenschonende Umgang am Campus liegen im Trend. Auch eigene Aktionen können sich die Studierenden vorstellen, konkrete Vorschläge und das Angebot der Mitwirkung stehen bislang aus.

Zudem bevorzugen die Studierenden wirksame Aktionen statt regulatorischer Vorgaben. Dies setzt allerdings individuelles Engagement, Freiwilligkeit und Unterstützung voraus.

5 Ausblick

Es stellt sich daher die Frage, wie Hochschulen das Leitbild nachhaltiger Entwicklung umsetzen und in ihren Handlungsfeldern Lehre, Forschung und Hochschulbetrieb integrieren können. Der erste Schritt ist der explizite Ausweis im Leitbild und die Verankerung in allen Strategien und Prozessen (Herzner 2018a).

Da nachhaltige Entwicklung als Prozess verstanden wird, der im Zeitablauf neue Ziele hervorbringen kann, sollte die Überprüfung und Bewertung von Maßnahmen regelmäßig erfolgen, um dem dynamischen Anspruch einer nachhaltigen Entwicklung zu entsprechen (Herzner 2018b). Eine

Überprüfung und Abfrage der Wahrnehmung bei den größten und relevantesten Stakeholdergruppen, trotz empirischer Mängel in der Erhebung und Auswertung dieses Stimmungsbarometers, ist daher sinnvoll. Die Akzeptanz einer Teilnahme an einem Stimmungsbarometer vs. einem üblichen Fragebogen bestätigte sich zumindest in diesem Fall.

Bei der Umsetzung der Maßnahmen ist die Einbindung relevanter Stakeholdergruppen wichtig (Freeman et.al. 2010). Klar ist in diesem Fall auch, dass diese Stakeholdergruppen kooperativ die Hochschule mitgestalten müssen. Nur Forderungen zu stellen und im Handeln zu divergieren ist sowohl für die eigenen Erwartungen der Stakeholder als auch für die Hochschule nicht zielführend.

Referenzen:

Brauneck, P./ Urbanek, R./ Zimmermann, F. (1997): Methodensammlung, Anregungen und Beispiele für die Moderation, Methode 071, Landesinstitut für Schule und Weiterbildung, Soest (Hrsg.).

Freeman, R. E., S., H. J., Wicks, A., Parmar, B., & De Colle, S. (2010). Stakeholder Theory. Cambridge: Cambridge University Press.

Herzner, A. (2018a). Nachhaltige Entwicklung als Ausgangspunkt strategischer Überlegungen im Hochschulmanagement. In M. Raueiser & M. Kolb (Eds.), Management-Reihe Corporate Social Responsibility: CSR und Hochschulmanagement (pp. 139-151). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-56314-4_11

Herzner, A. (2018b). Kriterium Strategie und Ziele des hochschulspezifischen Nachhaltigkeitskodex – ein Weg zur Nachhaltigkeitsberichterstattung an Hochschulen (Betaversion). In A. Bassen, R. Sassen, G. de Haan, & E. Gansel (Eds.), Anwendung des hochschulspezifischen Nachhaltigkeitskodex – Ein Weg zur Nachhaltigkeitsberichterstattung an Hochschulen (p. 23,25). Hamburg, Berlin, Duisburg-Essen: Universität Hamburg, Freie Universität Berlin, Universität Duisburg-Essen.

Klippert, H. (2002): Methoden-Training – Übungsbausteine für den Unterricht, Beltz Verlag, 12. Auflage, 277 S.

Nachhaltige Hochschule (2017). Kriterienkatalog Nachhaltige Hochschulen Bayern – KriNaHoBay. München, Eichstätt.

Kontakt:



Alexander Herzner, M.Sc.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

a.herzner@oth-aw.de



Dipl.-Ing. Dita Hommerová, Ph.D., MBA

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

d.hommerova@oth-aw.de



Katharina Braun, B.A.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

k.braun1@oth-aw.de



Ihr Partner für die Energiezukunft.

Die Energieversorgung von morgen wird dezentral. Dafür ist das Bayernwerk gerüstet und entwickelt Lösungen für die neue Energie-
welt in Bayern: von der Straßenbeleuchtung, über den EnergieMonitor
bis zur effizienten Anlage zur Energieerzeugung und -verteilung.
Wir sind der fachkundige Partner für Unternehmen, Privatpersonen
oder Kommunen. Sprechen Sie uns bitte an, wir beraten Sie gerne!

www.bayernwerk.de

bayernwerk

Zusammenfassung

Das Ziel unseres Projektes liegt darin, einige Zusammenhänge am Terminmarkt in Europa besser zu verstehen und einen Bezug dazu herzustellen, wie Märkte auf entsprechende Bewegungen reagieren. Ferner sollen damit verbundene Risiken aufgezeigt werden. Dazu haben wir umfangreiche Analysen im Terminmarkt durchgeführt. Dieser Beitrag entstand in einer Kooperation der Robert Beer Investment GmbH mit der OTH Amberg-Weiden im Sinne einer Vernetzung von theoretischer und anwendungspraktischer Perspektive. Konkret wird ein Finanzergebnis aus der jüngsten Vergangenheit näher analysiert: Der sogenannte „Flashcrash“ an den Finanzmärkten vom Februar 2018, der von den Terminmärkten ausgelöst wurde, steht im Mittelpunkt dieser Betrachtung.

Abstract

Our research aim was, to find causalities in the derivative market. We deepened our understanding of the european derivative market along the way. Further we could understand its effect on the general market movement. Therefore we used a broad set of quantitative analyses on the european derivative market. The OTH Amberg-Weiden helped us connect science with practice. Our mission was connecting actuality with insights. Therefore we worked on the analysis of the flashcrash in 2018, caused by the derivative market.

Untersuchung des „Flashcrashes“

In Zeiten der „Nullzinspolitik“ müssen Investoren zunehmend mühsam nach rentierlichen Anlagen suchen. Manche Anlageberater empfehlen Aktien wegen der Renditechancen, die sich aus Dividenden und möglichen Kursgewinnen zusammensetzen können. Gleichzeitig sind mit dieser Chance auf Erträge aber auch Risiken für das angelegte Vermögen verbunden, die sich in schwankenden Kursverläufen und eventuell in nachhaltigen möglichen Kursverlusten manifestieren.

Tatsächlich sind am Aktienmarkt tägliche Preisschwankungen die Normalität. Einige Aktien steigen oder fallen stark an einzelnen Tagen, weil es ein Übernahmegerücht gibt oder ein Skandal bekannt wird, bei anderen fällt die Schwankung geringer aus. Der Beitrag beschäftigt sich im Folgenden mit Schwankungen am Aktienmarkt. Der Fokus liegt dabei auf den in der Zukunft von Investoren erwarteten Schwankungen, den sogenannten Volatilitäten.

Die Einschätzung über die zukünftigen Schwankungen ist für viele Investoren verständlicherweise ein wichtiger Bestandteil bei ihrer Kaufentscheidung. Je größer die erwartete Volatilität, umso höher ist auch das empfundene Risiko der Investoren mit Anlagen am Aktienmarkt.

Seit dem Höhepunkt der Finanzkrise 2008 gingen die erwarteten Schwankungen im großen Trend über 10 Jahre stark nach unten. Diese von den Investoren erwarteten Schwankungen bzw. Volatilitäten werden durch den Index VDAX-NEW abgebildet. Berechnet wird dieser Index anhand der Volatilitäten von Optionen. Optionen sind Wetten auf die zukünftige Wertentwicklung eines Assets, zum Beispiel Aktie, Index oder Währung. Eine Komponente des Preises dieser Wette ist die Volatilität. Mithilfe der „Black Scholes Formel“ kann man diese Volatilitäten bestimmen. Seit dem Höhepunkt der Finanzkrise 2008 fiel der deutsche VDAX-NEW, mit kurzen Unterbrechungen, von 83 Indexpunkten auf 13 kurz vor Ausbruch des „Flashcrashes“ im Februar 2018.

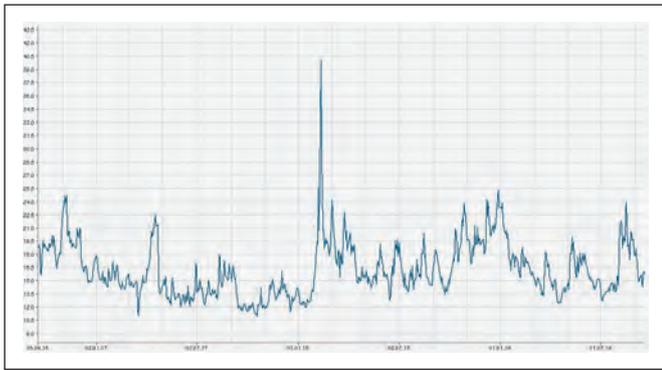


Diagramm 1: VDAX-NEW, Quelle: https://www.finanzen.net/index/vdax_new/charttool [1]

In den USA besteht mit dem Index VIX ein vergleichbares Konstrukt, dessen Verlauf zwischen 2017 und 2018 in folgender Abbildung dargestellt ist. Der Vix drückt dabei die von den Marktteilnehmern erwartete Schwankungsbreite des amerikanischen US Aktien Index S&P500 aus. [2]



Diagramm 2: Volatility Index [3]

Betrachtet man beide Diagramme, so fallen jeweils im Februar 2018 erratische Ausschläge der Volatilitätsindizes nach oben auf, die in ihrem Ausmaß als „Flashcrash“ bezeichnet werden können.

Ein Flashcrash entsteht, wenn viele Verkäufer gleichzeitig an den Finanzmärkten Wertpapiere verkaufen oder sogar verkaufen müssen. Die Preise stürzen dann innerhalb weniger Minuten drastisch ab.

Finanzunternehmen kreierten Produkte (Derivate) zur Spekulation auf sich im Zeitverlauf verändernde Volatilitäten in der Erwartung der Marktteilnehmer. Das Geschäft funktioniert vereinfacht so:

Mit dem VDAX-NEW wird die Volatilität des DAX abgebildet. Es gibt Futures als Spekulationsprodukte auf diesen Index. Bezogen auf diesen Index können Spekulanten über sogenannte Leerverkäufe „short gehen“ und profitieren damit

von fallenden Volatilitäten. „Short gehen“ oder „Leerverkauf“ bedeutet, etwas zu verkaufen ohne es zu besitzen. Das heißt, der Gewinn oder Verlust des Spekulanten ist die Preisdifferenz eines späteren Deckungsgeschäftes zum Ausgangskaufkurs. Geht man im VDAX-NEW bei 15 Indexpunkten „short“ und fällt der Index auf 12 gewinnt der Spekulant 20%. Steigt der VDAX NEW auf 18 Indexpunkte verliert man 20%. Die gerade im Zeitraum zwischen 2015 und Ende 2017 fallende Tendenz der Volatilitäten hat eine Zeitlang zu hohen Buchgewinnen bei den Spekulanten geführt, auch weil es noch eine weitere Besonderheit bei den Volatilitäten gab. Diese rückläufigen Volatilitäten folgten folgendem plausiblen Grund: Gerade wenn keine Panik am Aktienmarkt herrscht, kommt es bei den Volatilitäten zur „Contango“ Preissituation. Vereinfacht ausgedrückt wird in der nahen Zukunft weniger Volatilität als in der weiteren Zukunft erwartet. Zusätzlich zum Profit des allgemeinen Volatilitätsniveaus kam daher noch der Effekt dazu, dass die Volatilität jedes Monats zurückging, weil die Zwei-Monatsoptionen eine höhere Volatilität als die Ein-Monatsoptionen haben. Der VDAX-NEW besteht aus einer Mischung von ein- und zweimonatiger Laufzeit, deren durchschnittliche Restlaufzeit 30 Tage beträgt. Dies hat für Spekulanten zeitweise sehr gut funktioniert, mit Kursgewinnen alleine in 2017 von über 170 %.

Diese Entwicklung nahm ein jähes Ende als der VIX, der US-Pendant zum VDAX-NEW, im Februar 2018 plötzlich den höchsten prozentualen Tagesanstieg erlebte und Spekulanten Kursverluste von über 90% bescherte.

Im unmittelbaren Zusammenhang führte diese Entwicklung des VIX auch zum „Flash-Crash“ beim Dow Jones vom 5.2.2018, der einen historisch hohen Tagesverlust von 1175 Punkten bedeutete. Die im Dow Jones investierten Spekulanten interpretierten das plötzliche Ansteigen des Volatilitäts-Index offenbar als Bedrohung für ihre Aktien-Investitionen und einen Vorboten einer möglichen Krise. In der Folge reagierte der Markt unmittelbar mit einer Verkaufswelle, welche durch den Computerhandel und Stopp-Loss-Verkäufe verschärft wurde.

Interessanterweise konnte man im Nachgang keinen nachvollziehbaren und mit realwirtschaftlichen Entwicklungen erklärbaren Grund für das plötzliche Ansteigen des VIX finden. Teilweise wurden in der Folge diverse „Verschwörungstheorien“ (z.B. illegale Marktmanipulation) oder „Konstruktionsfehler“ in der Indexermittlung als Ursache thematisiert. [3]

Der Dow Jones erholte sich deswegen in der Folge schnell von dem „Absturz“.

Zeitversetzt übertrug sich die Situation in ähnlichem Ausmaß auch auf die europäischen Indices.

Dies alles sollte einem risikobewussten Investor tatsächlich zu denken geben.

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus dem dargestellten Beispiel für eine risikobewusste Anlagestrategie ableiten:

1. Gerade private Investoren stehen in besonderem Risiko, in emotionale Fallen bei der Finanzanlage zu geraten. Ein Risiko ist beispielsweise das Orientieren einer heutigen Investitionsentscheidung an den Renditen der Vergangenheit. Investoren gehen manchmal fälschlich davon aus, dass sich eine positive Entwicklung der Vergangenheit auch in der Zukunft fortsetzt. Dafür gibt es jedoch keine Garantie. Siehe dazu die oben dargestellte Situation mit einer längeren stabilen Phase steigender Kurse und Kursgewinne, die plötzlich endet. [4]
2. Investieren in Derivate bedeutet oft ein bedeutend höheres Chancen- aber eben auch Risikoprofil als die Anlage in originäre Wertpapiere wie etwa Aktien solider Unternehmen. In obigem Beispiel hätte ein Investor mit einer Investition in den Dow Jones am 8.2.2018 zwar ca. 10 % seines Kapitals verloren, bei einer zeitgleichen Investition in Derivate mit Bezug auf den amerikanischen „VIX“ aber annähernd einen Totalausfall seines investierten Kapital erlitten.
3. Investitionen sollten sich an eigenen Kompetenzbereich orientieren. Komplizierte, exotische Anlageempfehlungen beinhalten oft nicht überschaubare Risiken. Siehe dazu die obigen Ausführungen zur nicht wirklich nachvollziehbaren Ursache für das plötzliche Ansteigen des VIX-Index mit allen beschriebenen Auswirkungen. Erfolg liegt oftmals in der Einfachheit und Transparenz der Investitionsalternativen.

Vertiefende Begriffserklärungen

Contango

Im Diagramm 3 sind die Schwankungserwartungen der Investoren für den nächsten Monat geringer als z. B. für die nächsten zwei Monate. Investoren rechnen also mit steigender Unsicherheit über den Zeitverlauf. In der Fachsprache verwendet man für Schwankungserwartungen in der Zukunft den Begriff der implizite Volatilität. Die implizite Volatilität in dem nächsten Monat ist also niedriger als die implizite Volatilität der nächsten zwei Monate. Diese Gegebenheit wird Contango genannt.

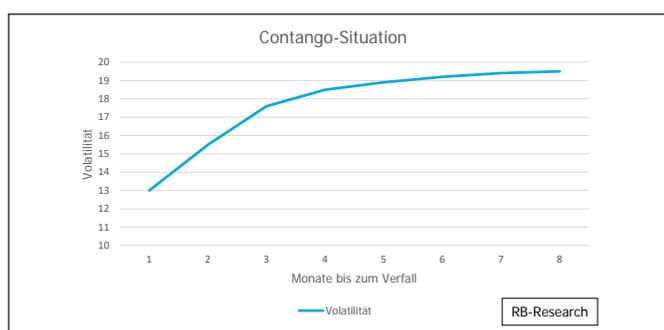


Diagramm 3: Contango (Robert Beer Investment GmbH Research Intern). [5]

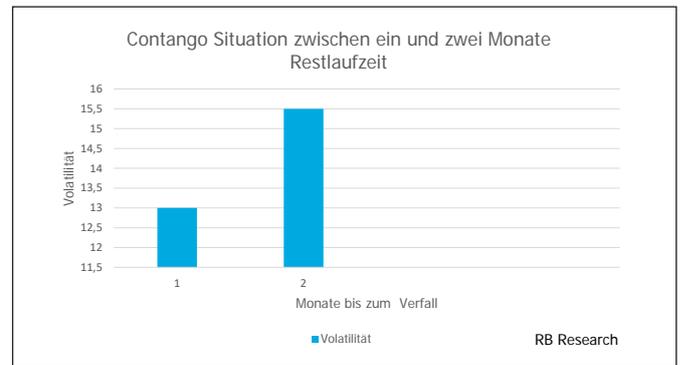


Diagramm 4: Contango (Robert Beer Investment GmbH Research Intern). [5]

Das Diagramm 4 stellt die Situation der Volatilitäten ein- und zweimonatiger Restlaufzeit dar. Investoren haben vereinfacht hauptsächlich systematisch von dem Unterschied dieser beiden Volatilitäten, bis zum „Flashcrash“ 2018 profitiert. Wenn sich an den Volatilitätserwartungen für ein und zwei Monate Laufzeit nach einem Monat nichts ändert, profitiert der Spekulant beim „short gehen“ der Volatilität der zweimonatigen Laufzeit von dem bestehenden Gap. Unter der Annahme, die erwartete Volatilität für ein und zwei Monate bleibt nach einem Monat konstant, fällt die „verkaufte“ Volatilität von 15,5 auf 13. Als „Shortseller“ profitiert ein Spekulant von diesem Rückgang und hätte in diesem Beispiel etwa 20% Gewinn in einem Monat erzielt. Dies geht so lange gut, bis diese Volatilität einmal stark ansteigt, was beim „Flashcrash“ passiert ist. Würde in unserem Beispiel die Volatilität auf 31 steigen, so würde ein Shortseller sein gesamtes Vermögen verlieren. Zum Vergleich: Am Höhepunkt der Finanzkrise wurden in diversen Indizes Volatilitäten von über 80 gehandelt.

Black Scholes Formel

Die Black Scholes Formel ist eine theoretische Überlegung von Fischer Black, Myron Scholes und Robert Merton aus den 70ern, um den Preis einer Option mittels einer Formel zu bestimmen. Diese Formel wird z. B. dafür verwendet, die Volatilität einer Option zu bestimmen. Ziel der Formel ist es, den Preis einer Option zu bestimmen. Wichtige Größen sind die verbleibende Laufzeit der Option, der Volatilität der Option, der Basispreises der Option und der Kurs des Underlyings. Es wird zudem angenommen, dass die Performance-schwankungen des Underlyings normalverteilt sind. Das Underlying ist das zugrundeliegende Wertpapier. Wir verwenden in den weiteren Ausführungen Aktien als Underlying. Damit die Black-Scholes-Formel den Preis einer Option für eine zugrundeliegende Aktie richtig bestimmen kann, müssen folgende Grundannahmen erfüllt sein:

Der Zinssatz muss bekannt und konstant sein. Die Schwankungen des Aktienpreises sind zufällig. Dabei ist die Varianz proportional zum Aktienpreis und die

Varianzrate des Returns ist konstant. Es existiert keine Dividendenausschüttung oder andere Kapitalveränderung der Aktie. Der Optionstyp ist europäisch. Es existieren keine Transaktionskosten und es ist möglich jeden Bruchteil eines Wertpapiers zum kurzfristigen Zinssatz zu kaufen. Es existieren keinerlei Leerverkaufsverbote.[6]

Die etwas kompliziert anmutende Black Scholes Formel für eine Call Option lautet:

$$C_t = S_t \cdot N(d) - e^{-r(T-t)} \cdot K \cdot N(d - \sigma \sqrt{T-t})$$

$$d = \frac{\ln(S_t/K) + (r + \sigma/2) \cdot (T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}}$$

C_t ist der Preis der Call Option in Abhängigkeit der Zeit t . Der Kauf einer Call Option führt zu Profiten bei steigenden Aktienkursen. Je länger die verbleibende Restlaufzeit einer Option, desto mehr ist die Option wert, weil mehr Ereignisse in einem längeren Zeitrahmen auftreten können. S_t bezeichnet den Kurs des zugrundeliegenden Wertpapiers, $N()$ die Verteilungsfunktion mit zugrundeliegender Standardnormalverteilung und den Basispreis K . Je höher der Wert des Kurses, desto höher der Wert der Call Option. $N(d)$ entspricht den realisierten Wahrscheinlichkeiten die kleiner d sind. Der stetige Zinssatz wird durch r ausgedrückt. $e^{-r(T-t)}$ ist der Diskontfaktor der für die Restlaufzeit $(T-t)$ anzuwenden ist. Je größer die Restlaufzeit, desto größer der Diskontfaktor. σ bezeichnet die Volatilität. Je größer die erwartete Volatilität, desto höher der Preis der Option. Die Volatilität ist ein Maß für die erwartete Schwankung des Underlyings.[7]

Liegt einer Option eine Aktie zugrunde so gibt die Volatilität die erwartete Schwankungsbreite in der Zukunft an. Diese zugrundeliegende Erwartung an Volatilität einer Aktie nennt man implizite Volatilität. Die Volatilität ist höher, je unsicherer die Erwartungen der Investoren sind. Am Höhepunkt der Finanzkrise 2008 war die Volatilität deutlich höher als sie im Jahr 2019 war, weil die Investoren weniger Schwankung erwarten. Die Volatilität ist eine wichtige Bestimmungsgröße in der Black-Scholes Formel für die Preisbestimmung einer Option. [7]

Flash-Crash

Ein „Flashcrash“ ist ein Ereignis, bei dem zurückgezogene Verkauforders Kursrückgänge verstärken. Als Ergebnis kann ein schneller Abverkauf von Wertpapieren auftreten und innerhalb von wenigen Minuten und zu deutlichen Kursrückgängen führen. Moderne Computerprogramme verstärken Marktbewegungen, weil sie bei starken Verkäufen, mit weiteren Verkäufen darauf re-

agieren. Am 6. Mai 2010 kam es zum Beispiel, zu einem „Flashcrash“ am US-Aktienmarkt. Der Dow Jones verlor innerhalb von 10 Minuten mehr als 1000 Punkte. [8]

Ein weiteres Beispiel ist der Flash Crash vom 05.02.2018, welcher den Dow Jones binnen Minuten 1175 Punkte verlieren lies. Dies war der höchste bis dahin gemessene Tagesverlust. [3]

VDAX-NEW

VDAX-NEW ist ein Volatilitätsindex, der die erwartete Schwankungsbreite des DAX in den nächsten 30 Tagen angibt. Ein VDAX-NEW Stand von 20 besagt z. B., dass bei einem DAX Stand von 12000 Punkten mit einer Schwankung zwischen 11312 und 12688 innerhalb der nächsten 30 Tage gerechnet gerechnet wird. Der VDAX-NEW wird aus den an der Eurex gehandelten DAX Optionen ermittelt. Es werden dabei sowohl „at-the-money“ als auch „out-of-the-money“ Optionen verwendet. Es wird für die jeweiligen Optionslaufzeiten ein Subindex berechnet. Es gibt Optionen auf die folgenden 1,2,3 Monate sowie die folgenden 1,2,3 Quartale und die folgenden zwei Halbjahre. Aus diesen Subindizes wird ein Optionsportfolio konstruiert, so dass nur die Schwankung des Underlyings abgebildet wird. Der VDAX-NEW wird durch Interpolation der beiden nächsten Subindizes auf 30 Tage ermittelt. Der VDAX-NEW wird dabei minütlich angepasst und wird von 8.50-17.30 Uhr an einem Handelstag ermittelt. (Vgl. dazu ausführlich [10])

Markttrends zum Thema Volatilität

Volatilitäten zu handeln wird unter institutionellen Investoren immer beliebter. Gleichzeitig nehmen die Möglichkeiten Volatilitäten zu handeln zu. Anfangs wurde nur die Volatilität der Optionen berechnet, später wurde die Volatilität handelbar und sogar Optionen auf Volatilitäten sind handelbar.

Bei Volatilitäten gibt es grundsätzlich zwei für den Handel wichtige Volatilitäten. Es gibt die implizite Volatilität, die die erwartete Schwankungsbreite der Investoren angibt. Die zweite wichtige Volatilität ist die realisierte Volatilität, die letztlich am Ende aufgetretene Schwankungsbreite. Von Unterschieden dieser beiden Volatilitäten wollen Anleger bei Anlagen in Volatilitäten profitieren. (Vgl. dazu ausführlich [11])

Im Zusammenhang mit der Forschungsfrage, wie der Flashcrash 2018 zustande gekommen ist, stellt sich die Frage, ob Investoren Risiken dieser Anlageklasse systematisch ausgeblendet haben.

Referenzen:

- [1] finanzen.net. (2019). VDAX-NEW Chart | finanzen.net. [online] Available at: https://www.finanzen.net/index/vdax_new/charttool [Accessed 25 Sep. 2019].
- [2] De.wikipedia.org. (2019). CBOE Volatility Index. [online] Available at: https://de.wikipedia.org/wiki/CBOE_Volatility_Index [Accessed 25 Sep. 2019].
- [3] Rohrbeck and Schulz (2019). Flash Crash: Ein sehr exotischer Crash. [online] ZEIT ONLINE. Available at: <https://www.zeit.de/2018/12/flash-crash-boerse-kurseinbruch-finanzmaerkte> [Accessed 25 Sep. 2019].
- [4] Neue Zürcher Zeitung. (2019). Aktienkauf: Börse als Ort emotionaler Fallen für Privatanleger. [online] Available at: <https://www.nzz.ch/finanzen/aktienkauf-boerse-als-ort-emotionaler-fallen-fuer-privatanleger-ld.1490174> [Accessed 25 Sep. 2019].
- [5] Robert Beer Investment GmbH Research, 25.09.2019
- [6] F. Black and M. Scholes, "The Pricing of Options and Corporate Liabilities," Journal of Political Economy, vol. 81, no. 3, pp 637–59, 1973.
- [7] K. Spremann, Vermögensverwaltung. München: Oldenbourg, pp.371–372, 1999.
- [8] Investopedia. (2019). Flash Crash. [online] Available at: <https://www.investopedia.com/terms/f/flash-crash.asp> [Accessed 25 Sep. 2019].
- [9] B. Graham, The intelligent investor: a book of practical counsel. New York, NY: Harper & Row, 1985
- [10] Deutsche-boerse.com. (2019). [online] Available at: https://deutsche-boerse.com/dbg/dispatch/de/binary/gdb_content_pool/imported_files/public_files/10_downloads/20_indices_misc/VDAX-Flyer_D.pdf (Accessed 25 Sep. 2019)
- [11] A. FRIEDRICH, VOLATILITÄT: Chancen und Risiken bei der Investition. [S.l.]: DIPLOMICA VERLAG GMBH, 2014

Kontakt:



Prof. Dr. Frank Schäfer

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

f.schaefer@oth-aw.de



Jonas Beer, cand. rer. pol.

Robert Beer Investment GmbH
Weidener Straße 36
92711 Parkstein

service@robertbeer.com

Zusammenfassung

Im Teilprojekt „Entwicklung neuartiger Bedienkonzepte zur Steuerung und Überwachung von digitaler Produktion“ in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt „Entwicklung eines Expertensystems zur Bewertung und Weiterentwicklung innovativer Fertigungsverfahren und Materialien“ des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Industry Software Application Center“ (ISAC@OTH) wurde an der Entwicklung einer Proof-Off-Konzept-Studie gearbeitet.

Am Ende der Untersuchung sollte klar sein, welche Möglichkeiten es gibt, die gesammelten Kraftdaten (Forcedaten), ermittelt mittels separater piezobasierter Kraftsensorik, mit den virtuellen Kraftdaten (Tracedaten), gewonnen direkt aus der Sinumerik-Steuerung einer Werkzeugmaschine, zu vergleichen. Außerdem sollte erkenntlich sein, welche Probleme auftreten können, wie diese gelöst werden können und welche Aussagekraft hinter der Bewertung der Datensätze steht.

Abstract

In the subproject “development of new user controls for the control and monitoring of digital production“ in cooperation with the subproject “development of an expert system for the evaluation and further development of innovative manufacturing processes and materials“ of the research and development project “Industry Software Application Center“ (ISAC@OTH) a proof-off concept study was developed.

At the end of the study it should be clear which possibilities exist to compare the collected force data (force sensor data), determined by means of separate piezo-based force sensor technology, with the virtual force data (trace data), obtained directly from the Sinumerik control of a machine. In addition, it should be recognized which problems can occur, how they can be solved and what there is to say about significance of the evaluation of the data sets.

1 Einleitung

Im praktischen Einsatz sind typischerweise die Messung von Zerspanungskräften eine fachliche und organisatorische Herausforderung, da ein Versuch natürlich so nah wie möglich am Zielprozess durchgeführt und dabei das Werkstück, gespannt auf dem Kraftaufnehmer, im Bearbeitungsraum positioniert werden muss. Durch die notwendige Verbindung mit der Messelektronik und Messsoftware muss zudem ein Datenkabel derart im Bauraum der Maschine verlegt werden, dass es zu keiner Einschränkung des Bearbeitungsprozesses kommt. Dies ist insbesondere bei mehrachsigen und synchronen Bearbeitungsstrategien nicht immer ohne Einschränkung möglich. Zudem haben konventionelle Kraftmesssysteme den Nachteil, dass zum einen das

Bauteilgewicht durch seine Massenträgheit bei hohen Achsbeschleunigungen die Kraftmessung verfälscht und zum anderen Messungen, bedingt durch Hebeleffekte, nur in einem kleinen Bereich oberhalb des Messaufnehmers valide sind [1].

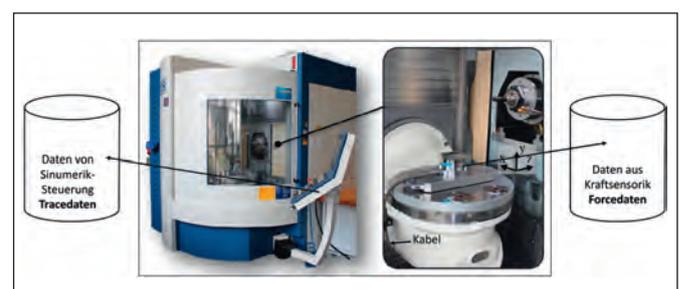


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Kraftmessung an der OTH AW [2]

Neue Messsysteme bieten durch die Nutzung von Telemetrie zur Datenübertragung den Vorteil einer größeren Flexibilität, sind jedoch bedingt durch die auftretenden Fliehkräfte bei Fräsbearbeitungen zum Bauteilschutz mit Drehzahlbegrenzungen zu betreiben [3].

Ziel der Studie ist es daher, das Potenzial einer intelligenten Analyse von verfügbaren Sensordaten der Steuerungselektronik in Werkzeugmaschinen zur Substitution von teuren sowie aufwendigen Versuchsaufbauten und Messgeräten zu bewerten. Dazu werden im ersten Schritt geeignete Versuchsdatensätze identifiziert, die Kräfte der konventionellen Messtechnik analysiert, mit den virtuell über Sensordaten berechneten Bearbeitungskräften verglichen und die Ergebnisse abschließend bewertet.

Im Rahmen einer vorangegangenen Studie wurden im Projekt ISAC@OTH verschiedene Frässtrategien zur Herstellung von Nuten detailliert untersucht [2]. Ziel war es dabei, die Einflüsse von Bearbeitungsstrategie, Werkzeug sowie Maschine auf wirtschaftliche Prozesskenngrößen wie Zeitspannvolumen und Werkzeugverschleiß beurteilen zu können.

Die dabei entstandenen Versuchs-Datensätze lassen sich vier verschiedenen Fräsprozessen bzw. -strategien zuordnen. Die Versuche mit der Bezeichnung HMILL, SCAM und SIM stehen für sogenannte trochoidale Nutfräsprozesse, welche üblicherweise in modernen CAM-Programmier-systemen Anwendung finden. Die Daten mit der Bezeichnung KONV wurden unter Verwendung einer konventionellen Vollnutbearbeitung erfasst. Bei allen Versuchen wurden, neben den Kräften und der Leistungsaufnahme mit konventioneller Messtechnik, auch die Achsdynamik während der Bearbeitung mit der sogenannten TRACE-Funktionalität der SINUMERIK Werkzeugmaschinensteuerung erfasst [2, 4]. Diese Funktion ermöglicht es, interne Sensordaten der Werkzeugmaschine während der Bearbeitung mit einer Abtastrate von bis zu 250 Hz aufzuzeichnen. Mögliche Sensordaten sind beispielsweise die Achspositionen, Geschwindigkeiten, Leistung oder Drehmoment [2, 4]. Je Fräsprozess wurden in Summe sechs Versuche durchgeführt und alle relevanten Größen bei der Nutfertigung erfasst.

2 Allgemeines

Für alle der 24 Datensätze wird ein Abgleich der konventionell gemessenen Kräfte sowie der virtuell berechneten und die Analyse der Unterschiede durchgeführt. Da beim Erheben der verschiedenen Datensätze die Signale unterschiedlich lang aufgenommen wurden, ist es notwendig, das Signal auf den relevanten Zeitbereich zu beschränken, um für den schlussendlich erwünschten Vergleich eine Aussage treffen zu können.

Durch die Konfiguration eines bestimmten Versuchsdatensatzes werden im ersten Schritt die virtuellen Kraftdaten berechnet. Anschließend wird mittels Schwell-

werkerkennung das Signal auf den relevanten Teil gekürzt. Diese Selektion findet auch bei den gemessenen Kraftdaten statt. Mithilfe der normalisierten Kreuzkorrelation (NCC) [5] werden die zeitlichen Unterschiede (Lags) bei der Aufnahme der Daten wieder ausgeglichen.

Diese beiden neuen Datensätze, die konventionell gemessene Kraft sowie die Trace-Daten dienen als Ursprung für die Berechnung. In einem abschließenden Schritt wird nun verglichen, wie ähnlich die beiden Kraft-Datensätze zueinander sind. Mithilfe von Jupyter Notebook und Python werden diese Daten in den folgenden Schritten verarbeitet.

2.1 Aufbereitung der Tracedaten

Nach dem Import eines Trace-Datensatzes muss die relevante Prozesskraft durch ein physikalisches Kraftmodell anhand der vorhandenen Trace-Signale abgebildet werden. Im ersten Schritt ist es hierbei erforderlich, ein für die Kraftbestimmung geeignetes Sensorsignal der Trace-Datensätze zu identifizieren. Die Trace-Funktionalität bietet die Möglichkeit, Drehmomente der Achsantriebe sowie der Bearbeitungsspindel zu erfassen. Insbesondere das Spindeldrehmoment eignet sich hierbei ideal als Ausgangsgröße für die Berechnung der Prozesskräfte. Der durch das Werkzeug vorgenommene Materialabtrag spiegelt sich zum einen durch die eingreifenden Schneiden im Werkstück, am Kraftaufnehmer und zum anderen im, für den Materialabtrag, notwendigen Drehmoment der Spindel wieder. Zuzüglich zum daraus resultierenden Prozessdrehmoment ist jedoch außerdem ein Drehmomentanteil enthalten, welcher für die Überwindung der Reibung sowie Trägheitseffekte in der Spindel erforderlich ist. Demnach lässt sich das Spindeldrehmoment wie folgt interpretieren:

$$M_{\text{Spindel}} = M_{\text{Fräsen}} + M_{\text{Reibung}}$$

Der durch Reibung und Trägheitseffekte verursachte Anteil des Drehmomentensignals kann durch die Differenz der mittleren Drehmomentabweichung zwischen laufender Spindel mit und ohne Werkzeugeingriff im Signal kompensiert werden. Anschließend kann über das Drehmomentanteil für das Fräsen die dabei wirkende resultierende Kraft über den Werkzeugradius berechnet werden.

$$F_{\text{res,Trace}} = \frac{M_{\text{Fräsen}}}{r_{\text{Fräser}}}$$

Bei der konventionellen Kraftmessung der Zerspanungsprozesse wurden, wie technisch üblich, die x, y und z-Komponenten der auf ein Werkstück, bedingt durch den Materialabtrag, wirkenden Kräfte erfasst. Diese Signale können nicht ohne eine zusätzliche Weiterverarbeitung mit der resultierenden Kraft aus dem Trace-Signal verglichen werden. Die x- und y-Komponenten der Messsignale können als von der Werkzeugschneide beim Spanabtrag auf das Werkstück

wirkende Kräfte interpretiert werden. Die daraus berechenbare resultierende Kraft $F_{res,meas}$ kann auch als Aktivkraft bezeichnet werden [6]. Unter der vereinfachenden Annahme, dass die Aktivkraft zu jedem Zeitpunkt in guter Näherung tangential zum Werkzeugdurchmesser verläuft, kann somit ein Drehmoment durch die auf der xy-Ebene wirkenden Kräfte (vgl. Abbildung 2), berechnet werden.

$$F_{res,xy} = \sqrt{F_{x,meas}^2 + F_{y,meas}^2}$$

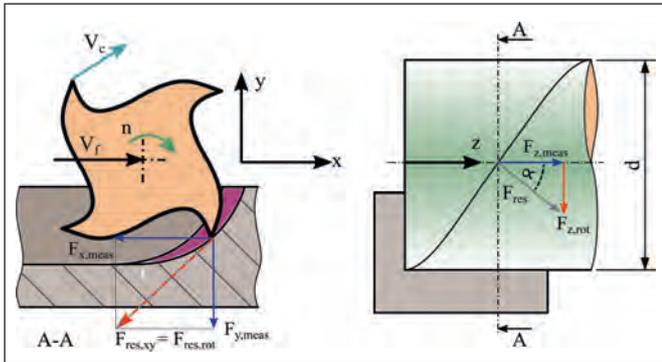


Abbildung 2: Messung und Interpretation der wirkenden Prozesskräfte

Bedingt durch eine spiralförmige Schneidenausprägung von Fräswerkzeugen wirken beim Zerspanungsprozess ebenfalls Kräfte in axialer Werkzeugrichtung (z-Richtung). Je nach Steigungswinkel (im vorgestellten Fall 38°) der Werkzeugschneide kann auch aus der dieser Kraftkomponente eine Tangential am Werkzeugdurchmesser wirkende und die resultierende Gesamtkraft beeinflussende Kraftkomponente $F_{z,rot}$ (vgl. Abbildung 3) berechnet werden.

$$F_{z,rot} = F_{z,meas} \tan \alpha$$

$$F_{res,meas} = \sqrt{F_{res,xy}^2 + F_{z,rot}^2}$$

Gegenüberstellung: $F_{res,trace} = F_{res,meas}$

Die Zusammenführung der beiden tangential wirkenden und aus den Messdaten der konventionellen Versuche berechneten Kraftkomponente bilden abschließend die Kraft, welche mit den Kraftdaten aus der Trace-Daten-Analyse verglichen werden kann. Da die Abstraten der Mess- und Trace-Daten unterschiedlich sind, musste anschließend noch ein Resampling (lineare Interpolation auf 2 ms) durchgeführt werden, um die virtuellen Kraftdaten direkt vergleichen zu können. Ohne diesen Vorgang könnte sonst nicht zu jedem Zeitpunkt ein Vergleich zwischen den beiden Datensätzen durchgeführt werden.

2.2 Interpretation des aufbereitenden Datensatzes

Man kann den Datensätzen auf den ersten Blick entnehmen, dass sie sich ähnlich sehen, aber nicht gleich sind. Das ist auf die genaueren Sensordaten der Kraftmessung

zurückzuführen. Ebenso kann man den so gewonnenen Daten entnehmen, dass sie sich ähnlich genug sind, um zu erkennen, wann das Werkzeug ein- und wieder austritt.

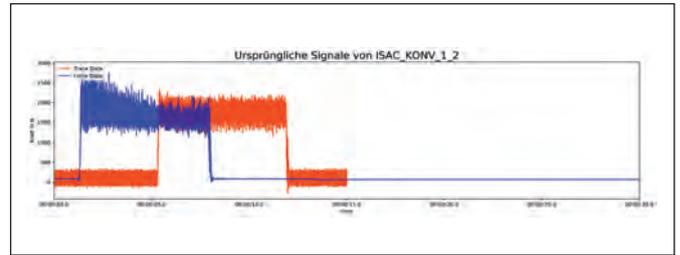


Abbildung 3: Nicht synchronisierte Trace- (rot) und Forcedaten (blau)

3 Selektion des relevanten Signals und Erkennung der Lags

Standardmäßig lagen in den Messdaten zeitliche Verschiebungen (Lags) vor, die korrigiert werden mussten, bevor ein weiterer Vergleich stattfinden kann. Außerdem wurde nur der relevante Teil des Signals der jeweiligen Messung (Signalabschnitt zwischen Anstieg und Abstieg) selektiert. Um nur die relevanten Signale miteinander zu vergleichen, wird als Erstes betrachtet, welcher Teil des Signals relevant für den aktuellen Vergleich ist. Relevant ist der Übergang vom Low- zum High-Signal und wieder zurück. Diese Signalabschnitte sollen später für einen Vergleich genutzt werden.

Um das relevante Signal selektieren zu können, berechnet man den Mittelwert aus den Höchst- und Tiefstwerten des jeweiligen Signals. Sobald ein Wert diesen Schwellwert das erste Mal überschreitet, zählt das Signal als relevant und bleibt relevant, bis es das letzte Mal diesen Schwellwert überschritten hatte. Danach ist das Signal für den Vergleich nicht mehr von Bedeutung. Um das Signalausrauschen zu reduzieren wird zusätzlich ein gleitender Durchschnitt [7] verwendet.

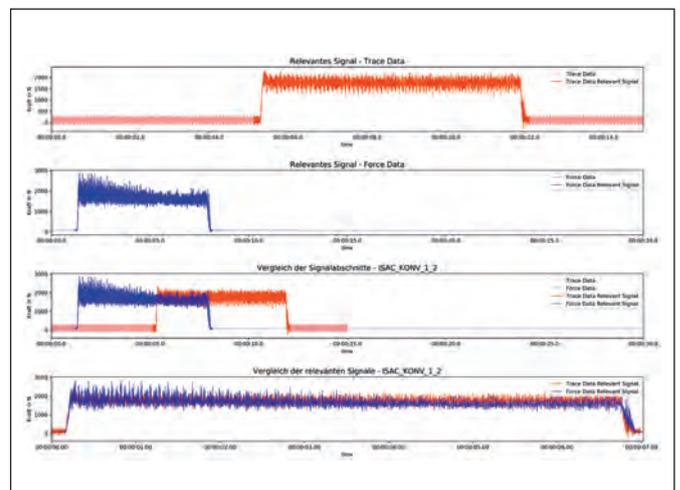


Abbildung 4: Selektion relevanter Signale mit Schwellwertalgorithmus

4 Korrektur der Lags mit der normalisierten Kreuzkorrelation

Nachdem die relevanten Signale selektiert wurden, kann jetzt die Feinjustierung der zeitlichen Verschiebung beginnen. Anhand der grob nach dem Schwellwert selektierten, relevanten Signale kann man erkennen, dass diese bereits relativ gut zu passen scheinen. Mithilfe der normalisierten Kreuzkorrelation ist es jedoch möglich, diese Signale noch etwas besser zu positionieren, indem man zu jeder Verschiebung die Korrelation zwischen den beiden Signalen berechnet und die Verschiebungsvariante mit der höchsten Korrelation verwendet.

Mithilfe der mittleren quadratischen Abweichung [8] konnte festgestellt werden, um wie viel Prozent das Signal mithilfe der normalisierten Kreuzkorrelation im Vergleich zur ursprünglichen Selektion des relevanten Signals die zeitliche Verschiebung verbessert werden konnte.

5 Ergebnis und Ausblick

Insgesamt wurde erarbeitet (vgl. Abbildung 5), dass mithilfe der normalisierten Kreuzkorrelation zwar meist eine Verbesserung erreicht wurde, diese sehr oft aber minimal ausfiel. In den Fällen, in denen mit der Verschiebung anhand der Kreuzkorrelation die Korrelation erheblich verbessert werden konnte, lag das an Testdaten, die nicht dem erwarteten Muster eines Überganges von einem Low- zum High-Signal entsprachen. Dieses erwartete Muster könnte in Zukunft aber noch verbessert werden, indem der Algorithmus angepasst wird, um diese Ausnahmen abfangen zu können. Dadurch lässt sich, mit der Möglichkeit des Verzichts auf die normalisierte Kreuzkorrelation, eventuell ein Performancegewinn erzielen.

Außerdem wurde erkannt, dass je nach Fräsprozessprogrammmodell die Korrelation zwischen Trace- und Forcdaten an unterschiedlichen Mittelwerten liegen. Das lässt sich den unterschiedlichen Frequenzen sowie dem teilweise schwer vergleichbaren Rauschen der Tracedaten

zuordnen. Für die präzise Kraftmessung ist dementsprechend die externe Kraftsensorik von Vorteil, dennoch gibt es klare Anwendungsfälle für die Verwendung der virtuellen Kraftsensorik. Ohne aufwendige Installation und Verdrahtung im Bauraum, die gerade beim 5-Achsfräsen Probleme bereitet, kann auf relativ teure Messsensorik verzichtet werden und es erübrigt sich die Problematik der Massenträgheitsmomente, die die Ergebnisse verzerren. Darüber hinaus stehen bei den Tracedaten zusätzliche Informationen, wie die Spindeldrehzahl und die Position der Vorschubachsen zur Verfügung, die weitere Möglichkeiten zur Nutzung der Daten eröffnen. Als Beispiel dafür konnte aus den Tracedaten auch ein Werkzeugbruch mittels des Drehzahlsignals der Hauptspindel erkannt werden.

Mittels der ohnehin vorhandenen Sensordaten der Steuerungselektronik in Werkzeugmaschinen können die Eingriffszeiten der Werkzeuge und deren Belastung in der Fräsmaschine näherungsweise gut berechnet und daraus folgend deren Abnutzung protokolliert werden.

	name	duration_relevant_signal [sec]	mse_before_ncc	mse_after_ncc	mse_improvement	correlation
0	ISAC_HMILL_1_1	85	12008	12008	-0.03	0.34
1	ISAC_HMILL_1_2	85	11218	11218	0.00	0.33
2	ISAC_HMILL_2_1	85	11896	11896	0.00	0.34
3	ISAC_HMILL_2_2	85	11183	11183	0.45	0.34
4	ISAC_HMILL_3_1	85	11972	11972	0.00	0.34
5	ISAC_HMILL_3_2	85	11329	11329	-0.04	0.34
6	ISAC_KONV_1_1	7	52117	52117	-4.03	0.70
7	ISAC_KONV_1_2	7	50489	50489	1.39	0.71
8	ISAC_KONV_2_2	6	128433	128433	-58.21	0.44
9	ISAC_KONV_3_1	6	175409	175409	-23.67	0.24
10	ISAC_SCAM_1_1	289	46561	46561	0.07	0.19
11	ISAC_SCAM_1_2	289	45315	45315	-0.04	0.21
12	ISAC_SCAM_2_1	289	47986	47986	0.30	0.19
13	ISAC_SCAM_2_2	290	44244	44244	0.23	0.21
14	ISAC_SCAM_3_1	289	47708	47708	0.24	0.20
15	ISAC_SCAM_3_2	289	45082	45082	0.20	0.22
16	ISAC_SIM_1_1	77	10307	10307	0.06	0.27
17	ISAC_SIM_1_2	77	10315	10315	0.35	0.27
18	ISAC_SIM_2_1	77	10214	10214	0.69	0.27
19	ISAC_SIM_2_2	77	10189	10189	0.61	0.27
20	ISAC_SIM_3_1	77	10832	10832	1.49	0.27
21	ISAC_SIM_3_2	77	10286	10286	0.20	0.27

Abbildung 5: Korrelation und Effektivität der NCC beim Signalvergleich aller Versuchs-Datensätze

Referenzen:

- [1] Kistler Instrumente AG, 1993, Winterthur Quarzkristall-4-Komponenten-Dynamometer Typ 9272. Betriebsanleitung
- [2] C. Haller, 2014, Amberg, Optimierung von Frässtrategien auf Basis von wirtschaftlichen und energetischen Kennzahlen – Masterarbeit an der OTH Amberg-Weiden
- [3] pro-micron GmbH, spike Technologie, Zerspankraft messen, drahtlose Datenübertragung, Online verfügbar unter: <https://www.pro-micron.de/spike/technologie/>, Zugegriffen am: 25.08.2019
- [4] SIEMENS AG, 2005, Erlangen, SINUMERIK 840D sl SinuCom NC: Inbetriebnahme-/Service-Tool, Systemhandbuch
- [5] M. N. O. Sadiku, S. M. Musa und S. R. Nelatury, 2014, Correlation: A Brief Introduction, International Journal of Electrical Engineering & Education, Jg. 51, Nr. 2, S. 93–99

- [6] E. Paucksch, 2008, Wiesbaden, Zerspantechnik. 12. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag
- [7] S. W. Smith, 1997, The scientist and engineer's guide to digital signal processing, 1. Aufl. San Diego, Calif.: California Technical Publ
- [8] Will Kurt, A Deeper look at Mean Squared Error, Online verfügbar unter: <https://www.countbayesie.com/blog/2019/1/30/a-deeper-look-at-mean-squared-error>, Zugegriffen am: 14.08.2019

Fördergeber:

Initiative BAYERN DIGITAL



Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

w.bloechl@oth-aw.de



Prof. Dr. Dieter Meiller

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

d.meiller@oth-aw.de



Christoph Haller, M.Eng.

Siemens Healthcare GmbH
Mechatronic Products
Technology Planning
SHS MP KEM MC MA TP
Röntgenstraße 19-21
95478 Kemnath

haller.christoph@siemens-healthineers.com



Veit Stephan, M.Eng.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

v.stephan@oth-aw.de



Stephan Prettnner

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

s.prettnner@oth-aw.de

Zusammenfassung

Die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität und Dichte von Transformatorenölen wurde im Temperaturbereich von 20 °C bis 85 °C mit einem Kugelfallviskosimeter und Auftriebskörper charakterisiert. Die Dichte korreliert linear mit der Temperatur, während die Viskosität mit der Wärme exponentiell abfällt. Für die Viskositätsfunktion wird ein einfaches Auswerteverfahren vorgeschlagen.

Abstract

The temperature dependence of the dynamic viscosity and density of transformer oils was characterized in a temperature range between 20 °C to 85°C using a falling sphere viscometer and a buoyancy body, respectively. A linear correlation of density with temperature was observed, while the viscosity drops exponentially when heating. The viscosity function was determined by the help of a simple evaluation procedure.

1 Einleitung

Die exakte Kenntnis der dynamischen Viskosität von Ölen ist wichtig für die Kühlung großer Leistungstransformatoren. Durch Konvektion im Ölbad strömt Wärme von den Spulen zum Transformatorgehäuse, auf dem Kühlrippen sitzen. Die Fließgeschwindigkeit hängt von der Viskosität des Öls ab. In technischen Datenblättern finden sich meist spärliche Angaben zur Viskosität für zwei Temperaturen. Wir haben anhand praktischer Messungen an zwei kommerziellen Isolierflüssigkeiten untersucht, inwieweit zuverlässige Vorhersagen für das Temperaturverhalten der Viskosität unter Zuhilfenahme der Dühring-Regel getroffen werden können.

2 Experimentelle Bestimmung der Dichte und Viskosität

Beim Höppler-Kugelfallviskosimeter wird die Zeit gemessen, die eine Kugel im Schwerfeld benötigt, um die Strecke zwischen zwei Markierungen durch ein geneigtes zylindrisches Rohr, das mit dem Prüffluid gefüllt ist, zurückzulegen (Abbildung 1). Gegen die Gewichtskraft wirken der statische Auftrieb und die Reibungskraft, so dass die Kugel schnell mit konstanter Geschwindigkeit

zu Boden sinkt. Die dynamische Viskosität η (in mPa·s) ist direkt proportional zum Produkt aus der Fallzeit t_K und der Differenz der Dichten von Kugel (K) und Fluid (F).

$$\eta = K \cdot (\rho_K - \rho_F) \cdot t_K \quad (1)$$

Die Proportionalitätskonstante K muss über Kalibriermessungen ermittelt werden. Die Prüftemperatur wird über zwei Anschlüsse für einen Thermostaten exakt eingestellt.

Die für die Bestimmungsgleichung (1) notwendige Dichte des Fluids wurde durch Auftriebswägung mit einem RUMANN-Körper bestimmt (Abbildung 2). Die Gewichtskraft F des Testkörpers (K) in Luft (L) und in der zu untersuchenden Flüssigkeit (F) wird um die Auftriebskraft im Medium gemindert.

$$\rho_F = \frac{F_L - F_F}{F_L} \cdot \rho_K \quad (2)$$

Die Dichte der Luft darf vernachlässigt werden. Mithilfe eines Thermostaten wurde diese Messung bei verschiedenen Temperaturen für ein natürliches und ein synthetisches Esteröl durchgeführt.

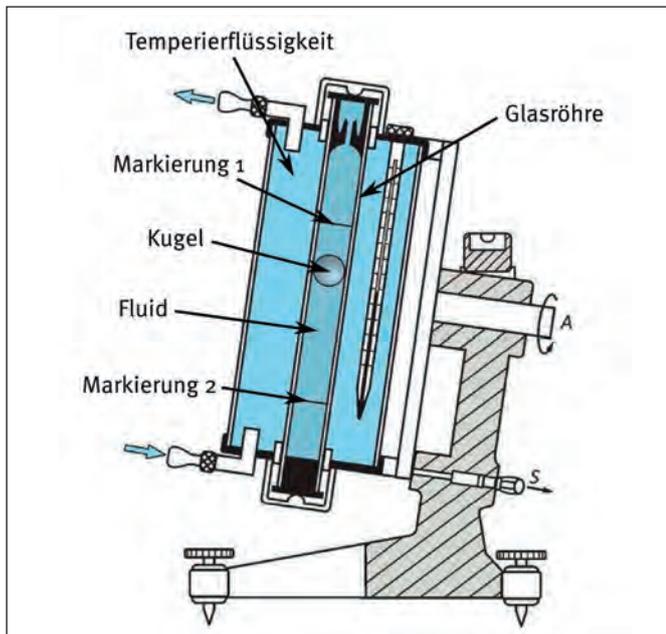


Abbildung 1: Kugelfallviskosimeter nach HÖPLER. Quelle [3]

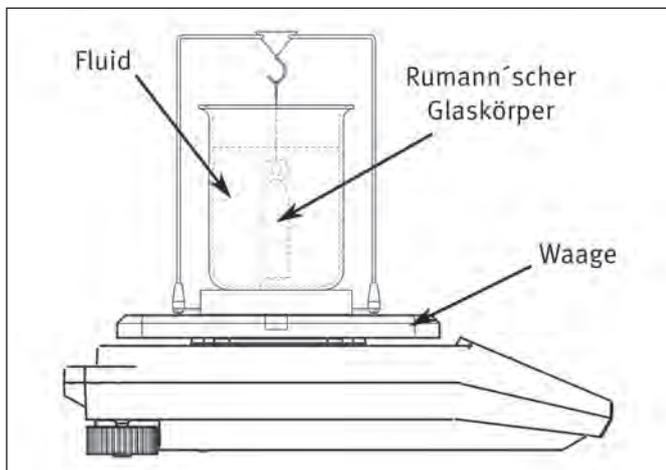


Abbildung 2: Dichte-Bestimmung nach dem ARCHIMEDES-Prinzip

3 Modellierung des Temperaturverlaufs

Im Temperaturbereich von 20 °C bis 85 °C in Schritten von 5 °C wurde die Dichte gemessen. Es ergibt sich ein vorzüglich linearer Zusammenhang zwischen der Dichte ρ und der Temperatur ϑ (Abbildung 3).

Die aus der Fallzeit der Kugel über zehn Messungen bestimmte dynamische Viskosität η fällt exponentiell mit steigender Temperatur. Die Arrhenius-Beziehung

$$\eta = \eta_c \cdot \exp\left[-\frac{E_A}{R \cdot T}\right] = \eta_c \cdot \exp\left[-\frac{E_A}{R \cdot (\vartheta + 273,15)}\right] \quad (3)$$

mit der Viskositätskonstante η_c , der Aktivierungsenergie E_A , der molaren Gaskonstante R und der absoluten Temperatur T (in K) bzw. der Celsius-Temperatur ϑ beschreibt die Temperaturabhängigkeit der Viskosität leider nicht befriedigend über den gesamten Temperaturverlauf (Abbildung 4). Eine exzellente Übereinstimmung liefert die PPDS-Gleichung [1] der VDI-Gesellschaft für Verfah-

renstechnik und Chemieingenieurwesen (Tabelle 1). Sie zeichnet sich durch hohe Genauigkeit und Extrapolationssicherheit aus.

$$\eta = E \cdot \exp\left[A \cdot \left(\frac{C-\vartheta}{\vartheta-D}\right)^{\frac{1}{3}} + B \cdot \left(\frac{C-\vartheta}{\vartheta-D}\right)^{\frac{4}{3}}\right] \quad \text{für } \left(\frac{C-\vartheta}{\vartheta-D}\right) \geq 0 \quad (4)$$

$$\eta = E \cdot \exp\left[-A \cdot \left(\frac{\vartheta-C}{\vartheta-D}\right)^{\frac{1}{3}} - B \cdot \left(\frac{\vartheta-C}{\vartheta-D}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{C-\vartheta}{\vartheta-D}\right)\right] \quad \text{für } \left(\frac{C-\vartheta}{\vartheta-D}\right) < 0$$

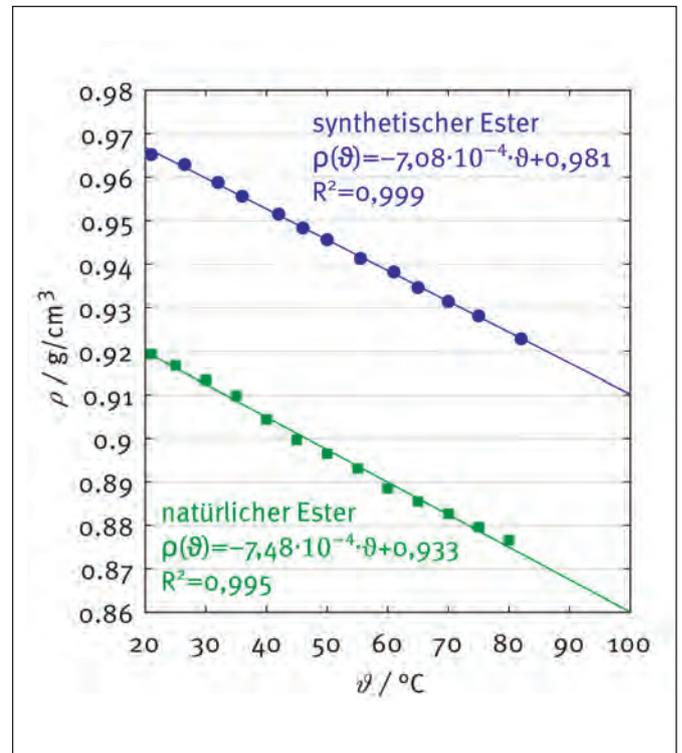


Abbildung 3: Temperaturabhängige Dichte zweier Esteröle.

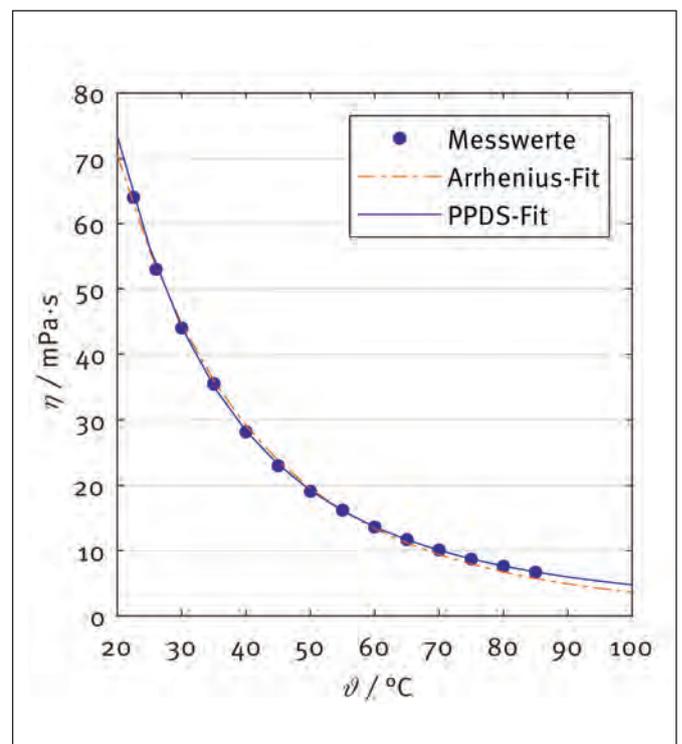


Abbildung 4: Gemessene und berechnete Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität eines synthetischen Esteröls.

Tabelle 1: Koeffizienten der Arrhenius- und PPDS-Gleichung

Arrhenius-Gleichung	synthetischer Ester	natürlicher Ester
η_c (10^{-4} mPa·s)	0,677	8,373
E_A (J/mol)	-33770	-27450
R^2	0,9983	0,9984
PPDS-Gleichung		
A	-28,3810	0,02424
B	-37,5876	-6,8361
C (°C)	-80,4612	-5,3479
D (°C)	-103,8572	-79,5708
E (mPa·s)	523,1175	206,2731
R^2	0,99994	0,99993

4 Schnellmethode nach Dühring

E. Dühring formulierte eine Regel zur Abschätzung des Viskositätsverlaufs einer Flüssigkeit anhand einer Referenzflüssigkeit.

$$\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\theta_1 - \theta_2} = \text{konstant} \quad (5)$$

Es wird die Temperatur θ , ermittelt, bei der eine bekannte Referenzflüssigkeit genau den Viskositätswert der Testflüssigkeit bei der Temperatur ϑ (in °C) annimmt. Zwischen den Temperaturen ϑ und θ besteht ein linearer Zusammenhang.

$$\theta = q_1 \cdot \vartheta + q_0 \quad (6)$$

Sind mindestens zwei Wertepaare $(\vartheta_1; \theta_1)$ und $(\vartheta_2; \theta_2)$ bekannt, so lässt sich die Dühring-Gerade aufstellen. Um die Viskosität bei der Temperatur ϑ_x zu bestimmen, wird ϑ_x in Gleichung (8) eingesetzt und die Temperatur der Referenzflüssigkeit θ_x berechnet. θ_x wird anschließend in die bekannte Viskositätsfunktion der Referenzflüssigkeit eingesetzt. Daraus ergibt sich die gesuchte Viskosität η_x gemäß Abbildung 5. Die Dühring-Regel gilt nicht nur für die Viskosität, sondern auch für eine Vielzahl anderer temperaturabhängiger Stoffeigenschaften wie z.B. den Dampfdruck. Je stärker sich Test- und Referenzflüssigkeit in ihrer chemischen Struktur ähneln, desto bessere Ergebnisse liefert die Dühring-Regel [2]. Die Viskosität des natürlichen – auf Basis der im Datenblatt angegebenen Viskositäten für 0 °C, 40 °C und 100 °C – und die bekannte Viskositäts-Temperatur-Kurve des synthetischen Esters definieren die Dühring-Gerade:

$$\theta(\vartheta) = 0,7834 \cdot \vartheta + 6,296 \quad (7)$$

Setzt man die nach Gleichung (7) berechneten Temperaturen in die PPDS-Gleichung (4) ein, ergibt sich die Vorhersage für die unbekannte temperaturabhängige Viskosität des natürlichen Esters (Abbildung 6). Die relative Abweichung, bezogen auf die mit der PPDS-Gleichung berechneten Werte, beträgt im Temperaturbereich von 0 bis 100°C weniger als 5%.

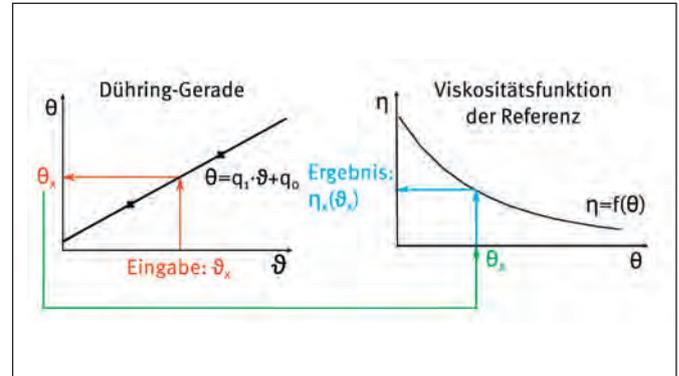


Abbildung 5: Viskositätsbestimmung mit der Dühring-Regel

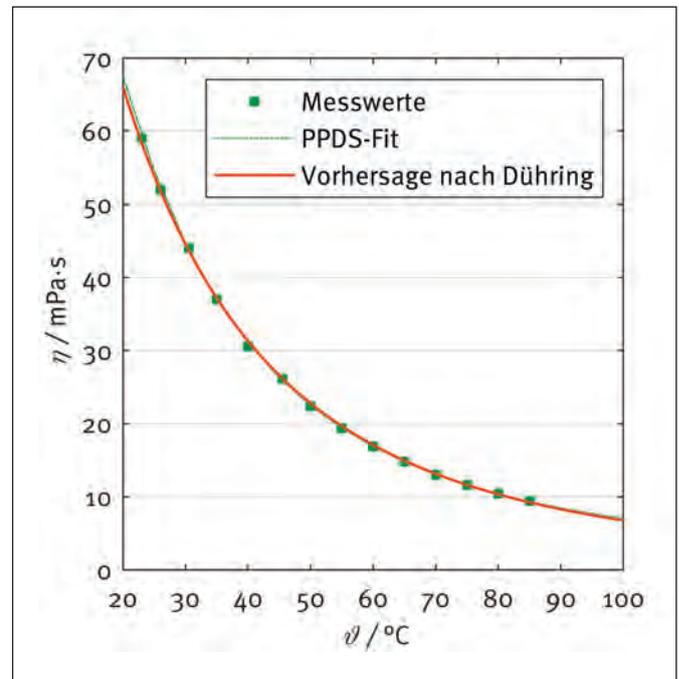


Abbildung 6: Gemessene Viskosität des natürlichen Esters und Vorhersage nach der Dühring-Regel.

5 Folgerung

Die Dühring-Regel liefert eine relativ genaue Vorhersage der Viskositätsfunktion, für die zwei Angaben aus einem Datenblatt genügen. Eine geeignete Referenzflüssigkeit, nicht zwangsläufig ein Transformatorfluid, muss bekannt sein.

Referenzen:

- [1] VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage, Berlin: Springer Verlag 2013, S.162.
- [2] A. Bittner, Anwendung der Dühring-Regel, Vorlesungsskript, HSWT Triesdorf 2016.
- [3] <https://docplayer.org/54915500-M21-viskositat-n-r.html> (Stand: 27. Juni 2019)

Fördergeber:

Bayerisch-Tschechische
Hochschulagentur



Česko-bavorská
vyšokškolská agentura



Kontakt:



Dipl.-Phys. Christian Schell

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ch.schell@oth-aw.de



Niklas Zell, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

n.zell@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de

Prozessüberwachung eines Bioreaktors zur Gärrestaufbereitung mit einem Metall- oxid-Sensor

Josef Schottenbauer, M.Eng.
Sebastian Chalupczok, M.Eng.
Dipl.-Phys. Christian Schell
Prof. Dr. Peter Kurzweil
Verena Brandl, B.Eng.
Julia Pister, M.Eng.

Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt „Nachhaltige Nutzung von Sekundärdüngemitteln“ wird ein Reaktor zur Stickstoffreduzierung in Gärresten aus Biogasanlagen erprobt. Zur Prozesskontrolle dient ein experimenteller pH-Sensor, der durch Messung des Ruhepotenzials die Beladung der Waschflüssigkeit mit Ammoniak überwacht. Das Aktivmaterial der Arbeitselektrode besteht aus einer Rutheniumdioxid-Kohlenstoff-Epoxidharz-Mischung, die in dem aggressiven Medium auf Langzeitstabilität geprüft wird. Die selbst entwickelte Messtechnik umfasst einen mit Analog-Digital-Wandler bestückten Einplatinencomputer „Raspberry Pi“, der die Spannungswerte ausliest und in einer Datenbank zur späteren Verarbeitung speichert.

Abstract

In the research project „Sustainable use of secondary fertilizers“, we have been testing a reactor for nitrogen reduction in fermentation residues from biogas plants. For process control, an experimental pH sensor was used, which monitors the ammonia concentration of the scrubbing liquid by the help of the measured open circuit potential. The active material of the working electrode, which consists of a composite of ruthenium dioxide, carbon and epoxy resin, is tested in the aggressive medium with respect to long-term stability. The in-house developed measuring device comprises a „Raspberry Pi“ computer, equipped with an analog-to-digital converter, which reads the voltage values and stores them in a database for data processing.

1 Reaktor zur Gärreststabilisierung

Die aerob-thermophile Gärreststabilisierung (ATGS) verfolgt das Ziel, Überreste nachwachsender Rohstoffe aus einer Biogasanlage unter Luftzutritt nachzubehandeln. Der Stickstoffanteil im flüssigen Gärrest soll reduziert und Nährstoffe sollen rückgewonnen werden. Die ammoniakhaltige Abluft aus dem Reaktor strömt durch 10 %-ige Schwefelsäure (Abbildung 1). Um die Sättigung des sauren Wäschers und den Durchbruch von Ammoniak festzustellen, läuft der Luftstrom aus dem Wäscher durch eine Messkammer mit 0,1-molarer Schwefelsäure und pH-Indikator. Die Säure wird durch gasförmigen Ammoniak neutralisiert, wodurch sich der pH-Wert der Prüflösung ins Basische verschiebt.

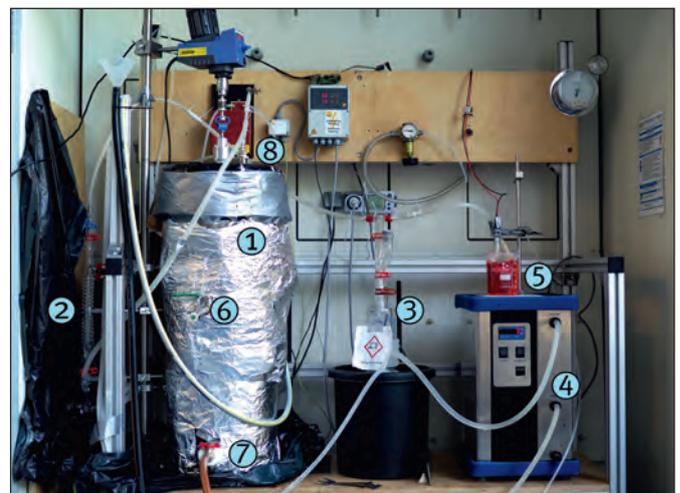
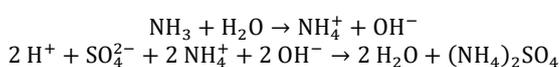


Abbildung 1: ATGS-Reaktor: 1 wärmeisoliertes Reaktionsgefäß, 2 Kondensator, 3 Gaswäsche in 10%iger Schwefelsäure, 4 Durchlaufkühler, 5 Metalloxid-Sensor in 0,1-molarer Schwefelsäure, 6 Auslauf, 7 Zulauf, 8 Abluftstutzen

2 Elektrochemischer Sensor

Die Oxide der Platinmetalle ändern ihr Ruhepotential – bezogen auf eine geeignete Referenzelektrode – proportional zum pH-Wert des umgebenden Elektrolyten [1].

$$\frac{\Delta E}{\Delta \text{pH}} = -\frac{RT}{F} \ln a(\text{H}_3\text{O}^+) \approx -0,059 \text{ V} \quad (2)$$

Als möglichst langbeständige Alternative zu Einzelelektroden haben wir einen Sensor auf Epoxidharzbasis eingesetzt. Zur Herstellung der Arbeitselektrode wurde durch Sol-Gel-Synthese gewonnenes, amorphes Rutheniumdioxid (17 %) mit 9 % Kugelgrafit und 74 % Epoxidharz zu einem Komposit verarbeitet. Grafit verleiht dem isolierenden Epoxidharz die notwendige elektrische Leitfähigkeit. Das zähflüssige Aktivmaterial wurde mittels der Stützstruktur, einer Glaspipette, um einen Kontaktierungsdraht aus Kupfer gebettet. Nach dem Trocknen erfolgte die mehrtägige Konditionierung des Sensors in demineralisiertem Wasser. Ein mit Silberchlorid beschichteter Silberdraht fungiert als Referenzelektrode. Als Festelektrolyt im Bezugssystem dient eine Schicht aus Kaliumchlorid und Epoxidharz [2].

Der Funktionstest des pH-Sensors, nach dem Verknüpfen von Arbeits- und Referenzelektrode, wurde durch eine potenziometrische Säure-Base-Titration erbracht. Mit dem Automaten TitroLine Alpha (Schott) wurden 25 mL 0,1-molare Schwefelsäure schrittweise mit 0,1-molarer Natronlauge versetzt. Der Titrationsendpunkt (pH 7) ist nach 5 mmol erreicht. Das quasistationäre Ruhepotential des Sensors bildet den pH-Verlauf in Abhängigkeit der zudosierten Lauge ab (Abbildung 2). Die Sensitivität beträgt -12 mV/pH . Im basischen Bereich ist eine geringere Steigung erkennbar, was jedoch für die Anwendung im Reaktor unerheblich ist.

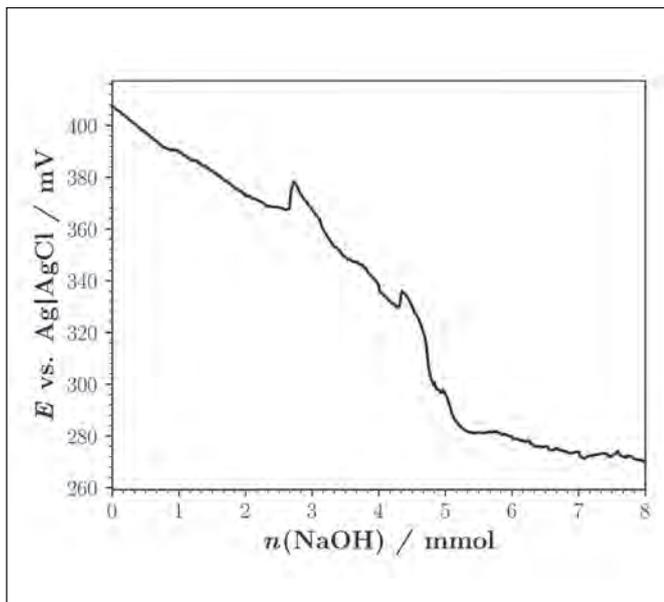


Abbildung 2: Titrationskurve eines in Epoxidharz gefassten RuO₂-Sensors mit Silber-Silberchlorid-Referenzelektrode.

3 Messsystem

Die Spannungsmessung am Sensor erfolgte mittels 16-Bit-AD-Wandler und I2C-Bus mit einem Raspberry-Pi-Einplatinen-Computer als Steuerungs- und Messinstrument (Abbildung 3). Der Analog-Digital-Wandler deckt mit dem Verstärkungsfaktor 4 einen Messbereich von $\pm 1,024 \text{ V}$ und ein Auflösungsvermögen von $0,03 \text{ mV}$ ab. Für die Ruhepotentialmessung ist dies mehr als ausreichend und schließt ein Quantifizierungsrauschen aus.

Die Spannungsdifferenz zwischen Arbeits- und Referenzelektrode beansprucht zwei der vier Messeingänge des AD-Wandlers. Das Auslesen des Ruhepotentials im „differential mode“ erfolgte über ein Python-Programm unter Nutzung der Programmbibliothek von Adafruit [3]. Ein Messwert pro Minute wird in einer MySQL-Datenbank als statistischer Einzelwert gespeichert. Das Auswerteprogramm erlaubt es, Daten über das lokale Netzwerk abzufragen und grafisch darzustellen.

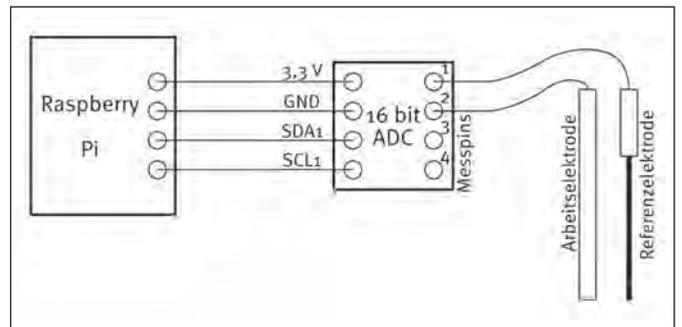


Abbildung 3: Verwendete Messtechnik aus Eiplatinencomputer, Stromversorgung (3,3 V und GND), I2C-Bus (SDA₁ und SCL₁), AD-Wandler, Arbeits- und Referenzelektrode

4 Ergebnisse

Bei den Langzeitmessungen am Reaktor stellte sich heraus, dass der Spiegel der Kontrollflüssigkeit beachtet werden muss. Verdunstet Wasser unzulässig, taucht der Sensor nicht mehr ausreichend ein und die saure Messlösung wird aufkonzentriert. Diesen praktischen Störfall zeigen die gemessenen Kurven durch den reproduzierbaren Anstieg des Elektrodenpotenzials (Abbildung 4). In festgelegten Zeitabständen wurde demineralisiertes Wasser zugegeben, worauf das gemessene Potenzial spontan abfällt. Als deutlicher Sprung offenbart sich der Äquivalenzpunkt. Die Potenzialdrift zu negativeren Potentialen ist am deutlichsten zu Beginn der Messung, spielt für die Endpunkterkennung aber keine Rolle.

Die Aufnahmekapazität der beiden eingesetzten Säurereservoirs beträgt bis zum Äquivalenzpunkt rechnerisch $m(\text{NH}_4) = 38,7 \text{ g}$. Der tatsächliche Ammoniumgehalt der Waschlösung wurde mittels eines Ammonium-Schnelltests (LCK 302/303, Hach) ermittelt und bestätigt die stöchiometrisch errechnete Größe (Tabelle 1).

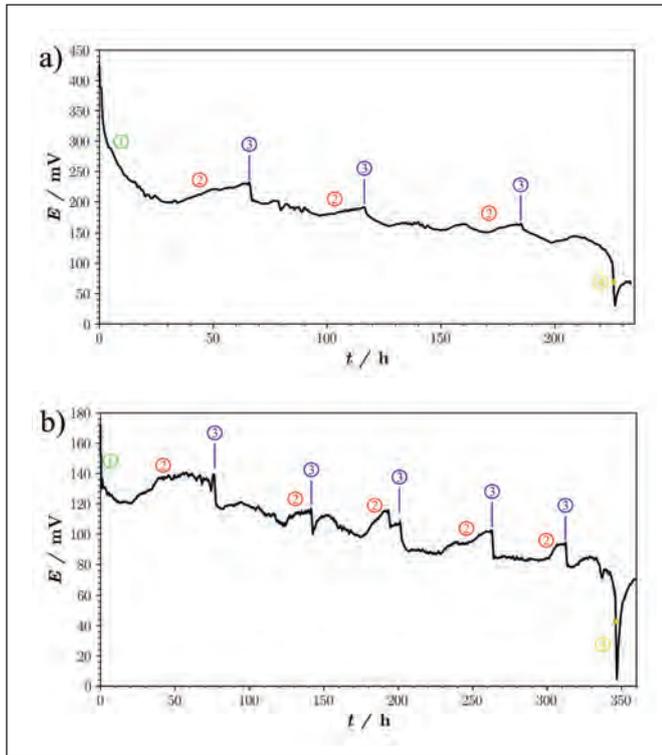


Abbildung 4: Zwei Langzeitmessungen (a und b) am Bioreaktor mit dem Metalloxid-Sensor: 1 Drift des Sensors zu Betriebsbeginn, 2 Aufkonzentrieren der Säure durch Verdunstung, 3 Nachfüllen mit deionisiertem Wasser, 4 Äquivalenzpunkt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Langzeitmessungen am Reaktor. Der NH_4 -Gehalt ist die Summe der Ammonium-Schnelltests der Lösung im Wäscher und der Messkammer.

Messung	Erreichen des Äquivalenzpunktes nach	NH_4 -Gehalt
1	250 h 59 min	39,14 g
2	346 h 6 min	33,46 g

5 Schlussfolgerung

Der entwickelte Metalloxid pH-Sensor zeigt die relative Änderung der Ammoniak-Beladung im schwefelsauren Wäscher eines ATGS-Reaktors zuverlässig an. Im qualitativen Zeitverlauf ist der Äquivalenzpunkt von Ammoniak in Schwefelsäure präzise bestimmbar. Aussagen zur Prozesskontrolle, insbesondere zum Wechsel der Waschlösung, wurden erfolgreich demonstriert. Das Ruhepotential unterliegt einer Drift, die durch periodische Kalibrierung in einer Pufferlösung korrigiert werden kann, falls der Sensor absolute pH-Werte anzeigen soll.

Referenzen:

- [1] S. Chalupczok, P. Kurzweil, J. Schottenbauer, C. Schell. pH Sensitivity of Screen-Printed Sensors based on amorphous and crystalline RuO_2 and the Impact of Conducting and Inert Binders. International Journal of Science and Research (2018) 419–427.
- [2] J. Schottenbauer, S. Chalupczok, C. Schell, P. Kurzweil. Geschützte Referenzelektroden für pH-Sensoren mit Metalloxiden. Forschungsbericht 2019, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden. 169–172.
- [3] Adafruit CIRCUITPYTHON_ADS1X15 library 1.0 documentation. GitHub. URL: <https://circuitpython.readthedocs.io/projects/ads1x15/en/latest/>. Abruf: 01.07.2019

Fördergeber:

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Kontakt:



Josef Schottenbauer, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

jo.schottenbauer@oth-aw.de



Sebastian Chalupczok, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

s.chalupczok@oth-aw.de



Dipl.-Phys. Christian Schell

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ch.schell@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de



Verena Brandl, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ve.brandl@oth-aw.de



Julia Pister, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor Angepasste Wassertechnologien
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ju.pister@oth-aw.de



LANGPATENT

ANWALTSKANZLEI IP LAW FIRM

Ihr Ansprechpartner:
Dr.-Ing. Christian Lang
Hermann-Hesse-Str. 14
92637 Weiden
www.langpatent.com
0961/40 18 5 - 66/ -77 (Fax)

Patente – Gebrauchsmuster – Marken – Designs

Ihr Partner in der Oberpfalz für globalen Schutz Ihres geistigen Eigentums

München - Weiden - Blatten b. Naters (CH)

Wir machen keine Werbung, sondern **Weiterbildung.**

Kurse, Zertifikate und
Studiengänge für
Berufstätige



Neben dem
Beruf

oth-professional.de

Zusammenfassung

Eine im Handel erhältliche Rucksackturbinen, die zur Stromversorgung von elektrischen Geräten im Outdoor-Bereich eingesetzt werden soll, wird im Wasser- und Windkanal getestet und ihre Leistungs- und Wirkungsgradcharakteristiken bestimmt. Insbesondere interessiert die Frage, ob 15 W Ladeleistung in Wasser- und Windströmung dargestellt werden können. Während die Turbinengenerator-Einheit ihre Aufgabe im Wasserkanal gut erfüllt und die 15 W sicher auch im Feld erzielbar sind, scheint dies für eine Windströmung aufgrund der Ergebnisse im Windkanal eher unrealistisch, da sehr hohe Windgeschwindigkeiten und Drehzahlen notwendig wären. Die mitgelieferte USB-Schnittstelle (Gleichrichter und 5V-Spannungsstabilisator) wurde in der Arbeit nicht betrachtet.

Abstract

A commercially available backpack turbine used to power outdoor electrical equipment is tested in water and wind tunnels to determine its performance and efficiency characteristics. Of particular interest is the question whether 15 W charging power can actually be implemented in water and wind flows. While the turbine generator unit fulfills its task well in the water tunnel and the 15 W can certainly be achieved in the field, this seems rather unrealistic for wind flow due to the results in the wind tunnel, because very high wind speeds and rotational speeds would be required. The supplied USB interface (rectifier and 5 V voltage stabilizer) was not considered in the work.

1 Einleitung

Outdoor-Freizeitaktivitäten fernab der Zivilisation erfreuen sich wachsender Beliebtheit. Trotz der Suche nach Erholung in der Natur, möchte der moderne Mensch jedoch nicht auf seine elektronischen Hilfs- und Kommunikationsmittel (wie z. B.: GPS, Digitalkamera, Mobiltelefon etc.) verzichten. Daraus folgt der Bedarf an netzunabhängigen Stromversorgungen. Kleine tragbare und zum Teil sogar biegsame Photovoltaik-Panels können die notwendigen (1 bis 10) W Ladeleistung zur Verfügung stellen und sind günstig in der Anschaffung sowie einfach in der Handhabung. In Gebieten oder Jahreszeiten, in denen die Sonneneinstrahlung jedoch zu gering ist oder, wie bei z. B. bei Höhlenwanderungen, gänzlich fehlt,

müssen andere Lösungen gesucht werden. Hier setzt die kleine Rucksack-Turbinen „WaterLily“ an (<https://www.waterlilyturbine.com/>, Abbildung 1)). Laut Anbieter soll sie in Wasser- und auch Luftströmungen Ladeleistungen bis zu 15 W zur Verfügung stellen können. Insbesondere dieses Versprechen, weckte die Neugier der Autoren. Liegen typische Strömungsgeschwindigkeiten in Gewässern im Bereich < 3 m/s, sind typische Windgeschwindigkeiten mit < 12 m/s eher eine Größenordnung höher. Die Dichte von Wasser liegt bei ca. 1000 kg/m³, die von Luft bei ca. $1,2$ kg/m³. So stellt sich die Frage, ob ein und dieselbe Strömungsmaschine, gekoppelt mit einem Generator, ähnliche Leistungen unter sehr unterschiedlichen Betriebsbedingungen erbringen kann. Dies wird in der vorliegenden Arbeit untersucht.



Abbildung 1: Rucksackturbinen WaterLily (links) mit USB-Schnittstelle und Powerbank (rechts)

Sind klassische Wasserturbinen wie zum Beispiel eine Kaplan-Turbine in einem Rohr verbaut, das die Stromröhre begrenzt, wird WaterLily (WL) frei umströmt und verzichtet auch auf ein führendes Leitrad. Somit ist die WL physikalisch enger mit einer Windturbine als mit einer Wasserturbine verwandt. Beide verzichten auf einen Aufstau der Strömung (wie im Allgemeinen bei einer Wasserturbine nötig) und nutzen nur die kinetische Energie, die bereits im Gewässer bzw. im Wind natürlich vorhanden ist.

2 Methodische Vorgehensweise

2.1 Theorie des Propellers und dessen Kennwerte

Der frei umströmte Propeller entnimmt der Strömung bei deren Durchtritt durch die Propellebene einen Teil ihrer kinetischen Energie bzw. Leistung, die Strömung wird langsamer und die Stromröhre weitet sich von Luv nach Lee zwangsläufig auf (Abbildung 2). Auch ein idealer Propeller kann der Strömung maximal $16/27$, das heißt knapp 60 % ihrer Energie, entnehmen [1]. In der Praxis sind es ca. nur 50 %. Das Verhältnis der der Strömung entnommenen Leistung (P_p) zur im Wind bzw. Wasser enthaltenen Leistung (P_w) nennt man den Leistungsbeiwert c_p des Propellers ($c_p = P_p/P_w$). Zusätzlich wird zur Beurteilung noch ein Momentbeiwert $c_m = M_T/(P_T/v_w * D/2)$ definiert, der sich aus dem Drehmoment der Turbine M_T dividiert durch das Bezugsmoment, das sich aus der Leistung der Turbine P_T dividiert durch die Anströmgeschwindigkeit v_w und multipliziert mit dem halben Rotordurchmesser $D/2$ ergibt. Abbildung 3 [2] zeigt den Verlauf von c_p und c_m für verschiedene Propeller- bzw. Rotorbauarten als Funktion der Schnelllaufzahl λ , die sich als das Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit u_{Tip} am Propelleraußendurchmesser (D) dividiert durch die Anströmgeschwindigkeit v_w berechnet.

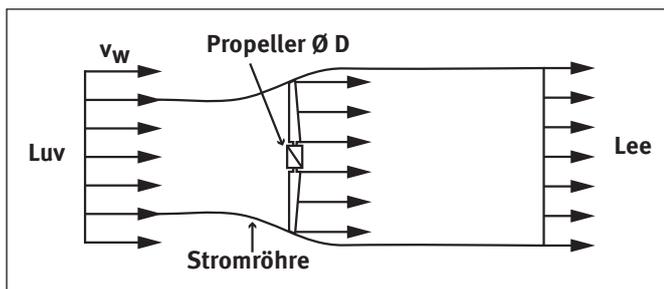


Abbildung 2: Stromröhre um einen frei umströmten Propeller [1]

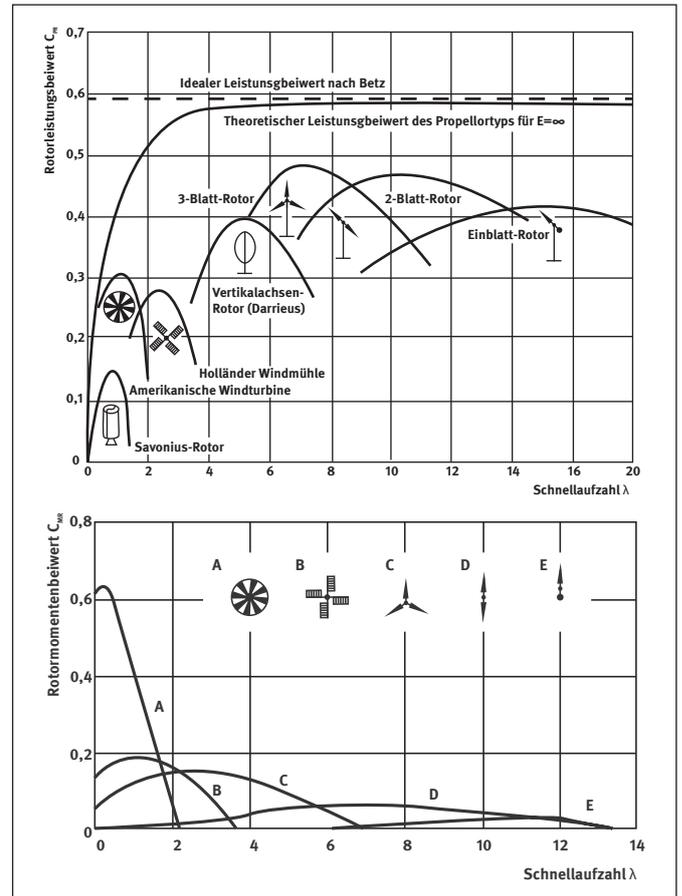


Abbildung 3: Leistungsbeiwert c_p (oben) und Momentenbeiwert c_m (unten) als Funktion der Schnelllaufzahl λ für verschiedene Rotorbauarten aus Hau [2]

Dem oberen Diagramm in Abbildung 3 ist zu entnehmen, dass mit zunehmender Propeller-Blattzahl die optimale Schnelllaufzahl λ und auch der maximal erreichbare Leistungsbeiwert c_p abnimmt. Entsprechend steigt mit zunehmender Blattzahl der Momentbeiwert c_m deutlich an. Jede Bauform beziehungsweise Blattzahl erreicht ihren maximalen Leistungsbeiwert und ihren maximalen Momentenbeiwert bei einer bestimmten Schnelllaufzahl (Drehzahl). Die Schnelllaufzahl für maximale Leistung liegt immer über jener für maximales Drehmoment.

2.2 Die Versuchsturbinen

Die WL besteht aus einem dreiblättrigen Laufrad (Abb. 1), dessen Blätter bzw. Schaufeln von innen nach außen in der Tiefe (Schaufelbreite) zunehmen. Die Schaufeln sind am Außendurchmesser mit einem Deckband verbunden. Der permanent-erregte Generator befindet sich im schwarzen Außenring. Der Laufraddurchmesser beträgt $D = 0,18$ m, die WL-Masse $m = 1,3$ kg. Der Anbieter selbst macht auf seiner Homepage die Angabe, dass sowohl in Wasser- als auch Windströmungen 15 W elektrische Leistung erzielt werden kann, die an zwei USB-Schnittstellen (5V) zur Verfügung steht. Auf Nutzeranfrage wurden folgende Angaben zu den Strömungsgeschwindigkeiten in Wasser gemacht:

$$0,28 \text{ m/s} < v_{\text{Wasser}} < 4,17 \text{ m/s}, P_{\text{Max}} \text{ bei } 3,2 \text{ m/s}$$

Zu den notwendigen Windgeschwindigkeiten wurden keine Angaben gemacht. Der Preis für die WL liegt je nach Internet-Händler bei unter 150 €.

2.3 Messaufbau, -durchführung, Messgrößen und Beurteilungsparameter

Für die Bestimmung der Betriebscharakteristiken wurde das USB-Interface (Gleichrichter und Spannungsstabilisator auf 5 V) von der WL abgetrennt und diese über die drei Phasen mit dem externen Gleichrichter der Firma LUCAS-NÜLLE vom Typ CO3212-6W mit variablem Lastwiderstand verbunden. Die erzeugte Gleichspannung und der erzeugte Gleichstrom wurden mit zwei Multimetern vom Typ BENNING MM1-2 und METRAHIWorld bestimmt. Im Windkanal konnte die WL-Drehzahl mit einem Laser-Drehzahlmesser vom Typ testo 465 bestimmt werden. Im Wasserkanal war das nicht möglich. Deshalb wurden alle der im Wasserkanal untersuchten Spannung-Strom-Betriebspunkte mit der WL, angetrieben durch eine Ständerbohrmaschine, nochmals eingestellt und die zugehörige Drehzahl nachträglich bestimmt.

Die Versuchsdurchführung im Wind- und Wasserkanal war darüber hinaus identisch. Für feste Anströmgeschwindigkeiten $v_w = \text{const.}$ wurde über den variablen Lastwiderstand die Drehzahl n variiert und die erzeugte Spannung $U(n)$ und Strom $I(n)$ gemessen. Daraus wurde die elektrische Leistung P_{el} und ein „elektrisches Drehmoment“ M bestimmt. Der Gesamtwirkungsgrad, bestimmt aus P_{el} und P_w ,

$$\eta_{ges} = c_p * \eta_{Tur} * \eta_{mech} * \eta_{el} = P_{el} / P_w$$

ist das Produkt aus dem Leistungsbeiwert $c_p = P_T / P_w$, dem strömungsmechanischen Turbinenwirkungsgrad η_{Tur} , dem mechanischen Wirkungsgrad η_{mech} (z. B. Lagerreibung) und dem elektrischen Wirkungsgrad η_{el} des Generators. P_T ist die Leistung der Turbine an deren Welle, P_w ist die Strömungsleistung des Fluids in der Stromröhre ($P_w = \rho / 2 * v_w^3 * \pi * D^2 / 4$). Der Drehmomentenbeiwert c_M berechnet sich aus dem „elektrischen Drehmoment“ M , der Strömungsleistung P_w , der Anströmgeschwindigkeit v_w und dem Rotordurchmesser D :

$$c_M = \frac{\bar{M} * v_w}{(P_w * D / 2)}$$

3 Experimentell bestimmte Turbinencharakteristiken

3.1 Betriebsverhalten im Wasserkanal

Die ermittelte elektrische Leistung P_{el} für vier verschiedene Anströmgeschwindigkeiten v_w als Funktion der Drehzahl n zeigt Abbildung 4.

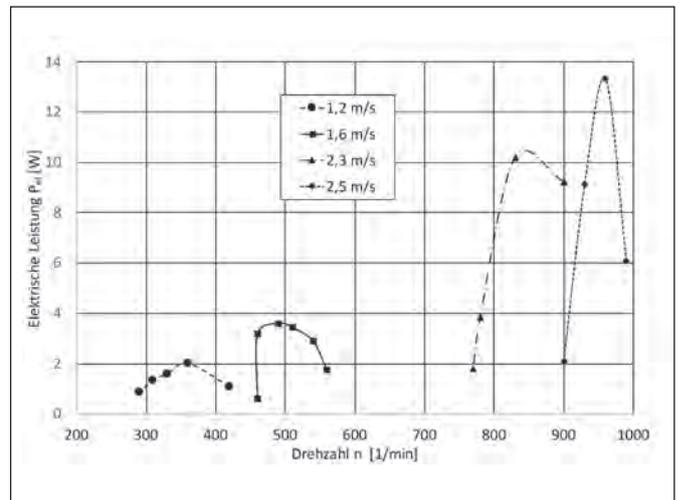


Abbildung 4: Elektrische Leistung als Funktion der Drehzahl für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten im Wasserkanal.

Für die höchste gemessene Anströmgeschwindigkeit $v_w = 2,5 \text{ m/s}$ (Limitierung des Wasserkanals) erreicht die WL über 13 W Leistung, sodass die versprochenen 15 W bei 3,2 m/s sicher erreicht werden. Auch bei $v_w = 1,2 \text{ m/s}$ liegen immer noch 2 W an, was bei 5 V 0,4 A Ladestrom bedeutet. Das heißt die WL kann, in einem Bach betrieben, sicher elektrische Geräte laden. Die mitgelieferte Powerbank (2600 mAh) wäre bei $v_w = 1,2 \text{ m/s}$ in 6,5 h d. h. über Nacht voll aufgeladen. Abbildung 5 zeigt nun den ermittelten Gesamtwirkungsgrad η_{ges} und den Momentenbeiwert c_M als Funktion der Schnelllaufzahl λ .

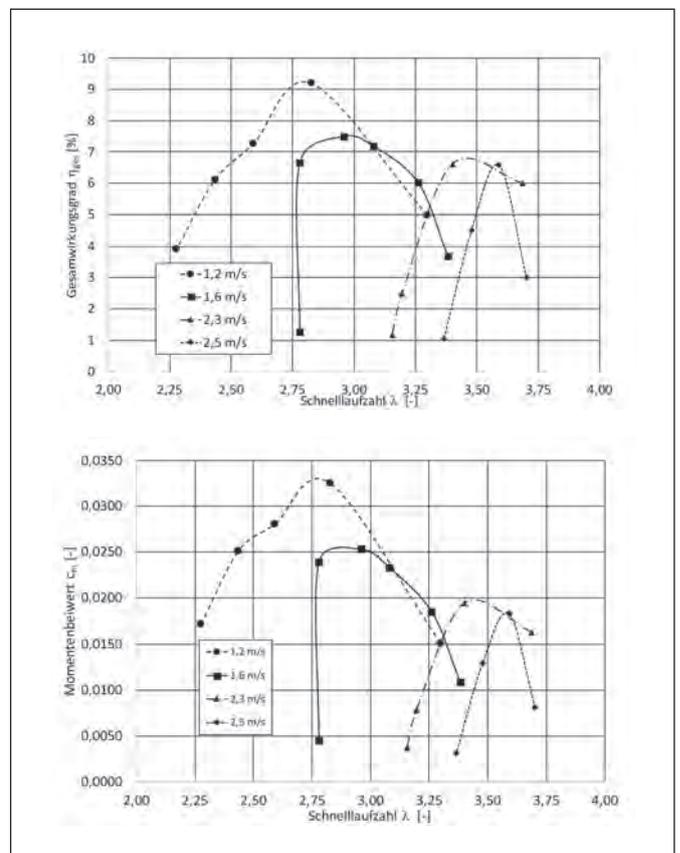


Abbildung 5: Gesamtwirkungsgrad (oben) und Momentenbeiwert (unten) als Funktion der Schnelllaufzahl für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten im Wasserkanal.

Theoretisch müssten sowohl die Verläufe des Wirkungsgrades als auch des Momentenbeiwertes eines frei umströmten Propellers auch für unterschiedliche Anströmgeschwindigkeiten und Drehzahlen aufgetragen über λ auf eine Kurve zusammenfallen. Dies ist hier offensichtlich nicht der Fall. Das Wirkungsgrad- bzw. Momentenmaximum wird im Bereich $2,5 < \lambda < 3,5$ erreicht. Die WL ist somit eher ein Langsamläufer. Die maximalen Wirkungsgrade als auch Momentenbeiwerte liegen weit unter denen in Abbildung 3 für $\lambda \approx 3$ dargestellten. Insbesondere der Momentenbeiwert c_M ist eine Größenordnung kleiner. Neben Reibungsverlusten in den Lagern und elektrischen Verlusten im Generator dürften hierfür vor allem die strömungsmechanischen Reibverluste des mitlaufenden Deckbandes verantwortlich sein. Abschätzungen zeigen, dass diese für Wasser in der Größenordnung des Nutzmomentes liegen.

3.2 Betriebsverhalten im Windkanal

Die ermittelte elektrische Leistung P_{el} für drei verschiedene Anströmgeschwindigkeiten v_w als Funktion der Drehzahl n zeigt Abbildung 6.

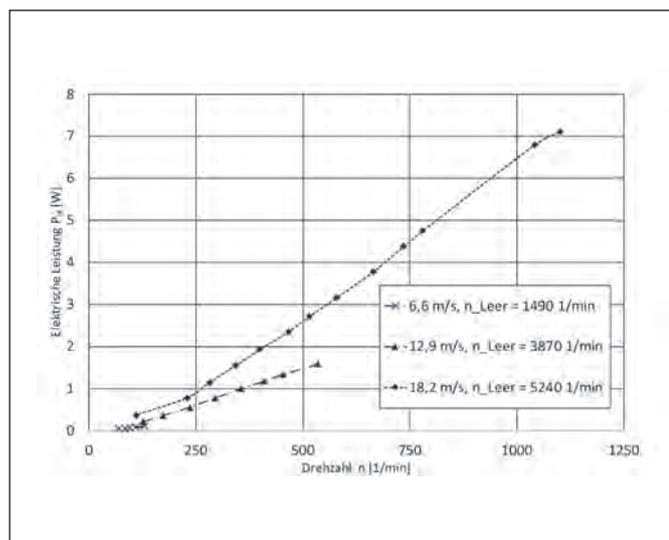


Abbildung 6: Elektrische Leistung als Funktion der Drehzahl für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten im Windkanal.

Für die höchste gemessene Anströmgeschwindigkeit $v_w = 18,2$ m/s erreicht die WL über 7 W Leistung, sodass die versprochenen 15 W rechnerisch bei ca. 23,5 m/s erreicht werden könnten. Das sind jedoch gut 84 km/h und somit sicher keine empfehlenswerten Einsatzbedingungen für Outdoor-Aktivitäten. Bei $v_w = 6,2$ m/s, die in unseren Breiten eher realistisch sind, ist die Ladeleistung unter 0,1 W, sodass keine sinnvolle Ladung möglich wäre. In der Legende sind noch die ermittelten Leerlaufdrehzahlen angegeben. Diese und der Verlauf der Kurven in Abbildung 6 legen nahe, dass bei höheren Drehzahlen noch deutlich höhere Leistungen möglich wären. Leider erlaubt der variable Belastungswiderstand keine höheren Drehzahlen. Bei der Leerlaufdrehzahl von über 5000 1/min lag eine Gleichspannung von ca. 600 V an. Es wurde nicht überprüft wie bzw. ob die WL-USB-Schnitt-

stelle diese hohe Spannung umwandeln und stabilisieren kann. Abbildung 7 zeigt nun den ermittelten Gesamtwirkungsgrad η_{ges} und den Momentenbeiwert c_M als Funktion der Schnelllaufzahl λ für die Windkanal-Messungen.

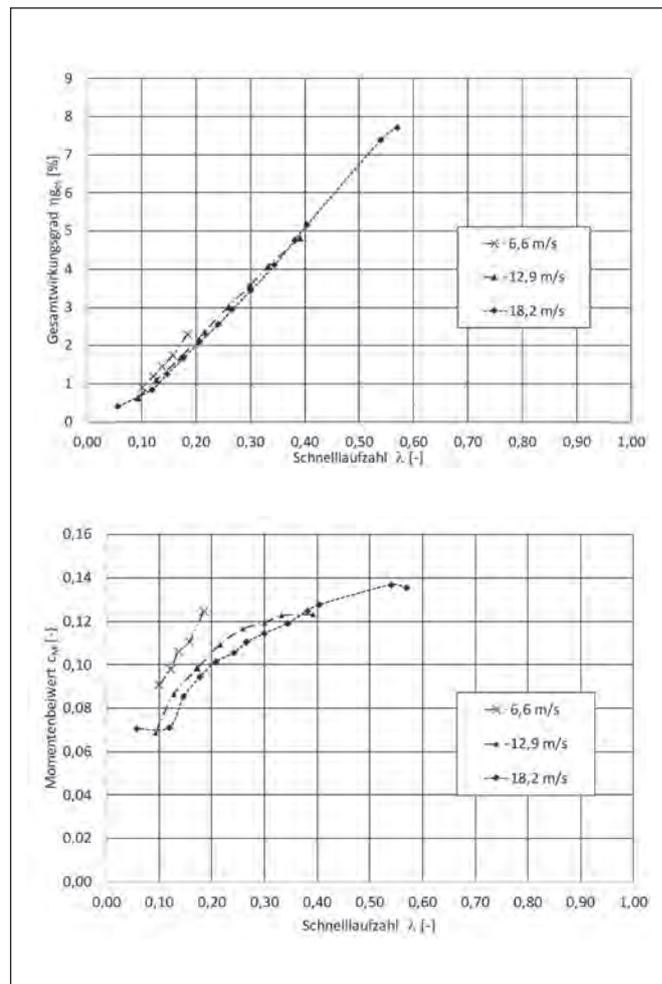


Abbildung 7: Gesamtwirkungsgrad (oben) und Momentenbeiwert (unten) als Funktion der Schnelllaufzahl für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten im Windkanal.

Im Windkanal fallen die Verläufe des Wirkungsgrades und des Momentenbeiwertes für unterschiedliche Anströmgeschwindigkeiten und Drehzahlen aufgetragen über λ annähernd auf eine Kurve zusammen. Das strömungsmechanische Reibmoment des Generatorrings ist in Luft über zwei Größenordnungen kleiner als in Wasser und hat nur noch einen geringen Einfluss auf die Messergebnisse. Deshalb ist der Momentenbeiwert in Luft deutlich größer als in Wasser. Es ist offensichtlich, dass die WL im Windkanal mit zu geringer Schnelllaufzahl, d. h. mit zu geringer Drehzahl betrieben wurde, da nur ein Teil des linken Astes der Charakteristik (siehe Abbildung 3) ermittelt wurde. Um $\lambda \approx 3$ wie im Wasserkanal zu erreichen, hätte die Drehzahl um den Faktor 5 bis 10 erhöht werden müssen. Dies erlaubte die elektrische Belastungseinheit nicht. Es bleibt auch fraglich, ob Drehzahlen zwischen 3000 1/min bis 5000 1/min für die WL sinnvoll sind, da die WL bei gut 5000 1/min Leerlaufdrehzahl bereits deutlich Vibrationen zeigte und die erzeugte Gleichspannung bei über 600 V lag.

4 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Da die Strömungsleistung P_w eines Fluids in der Strömungsröhre mit dem Durchmesser D über $P_w = \rho/2 \cdot v_w^3 \cdot \pi \cdot D^2/4$ zusammenhängt, gilt $P_w \sim \rho$ und $P_w \sim v_w^3$. Stellt die Strömungsröhre mit dem Durchmesser von 0,18 m (WL-Durchmesser) bei 1 m/s Wasserströmung ca. 15 W zur Verfügung, sind dafür in einer Windströmung 10 m/s notwendig. Da Windgeschwindigkeiten bei 10 m/s und Fließgeschwindigkeiten von Gewässern bei 1 m/s liegen, ist die Versprechung, dass die WL in Wasser- und Windströmung das gleiche Leistungspotenzial hat, zunächst sinnvoll. Um diese Strömungsleistung zu ernten, muss die WL jedoch mit ihrer Auslegungsschnelllaufzahl laufen. Nach den Messungen im Wasserkanal liegt diese bei $\lambda \approx 3$. In Windströmung wäre sie noch höher, da das strömungsmechanische Reibmoment des Generatorringes in Wind einen deutlich geringeren relativen Einfluss hat. Mit Blick auf die Anströmgeschwindigkeit müsste die Drehzahl in Wind ungefähr zehnmal so hoch sein wie in Wasserströmung und läge damit bei < 10000 1/min. Da die WL schon bei 5000 1/min Leerlaufdrehzahl deutliche Vibrationen zeigte, ist dies kaum praktikabel.

Die vom Generator erzeugte Spannung ist proportional zu dessen Drehzahl. Bei der WL wurde für kleine Belastungsströme (< 100 mA, wie sie im Windkanal auftraten) die Konstante 13 1/min/V bestimmt. Bei ca. 10000 1/min würden daraus folgend 770 V Spannung erzeugt, die Stromstärke für 15 W wäre mit ungefähr 20 mA sehr gering. Zudem wäre die hohe Spannung hinsichtlich

der Betriebssicherheit ein Problem. Ob die mitgelieferte USB-Schnittstelle die Spannungswandlung und -stabilisierung von mehreren 100 V auf 5 V bewerkstelligt, wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht überprüft.

5 Zusammenfassung

Die Brauchbarkeit der WaterLily-Rucksack-Turbine als Outdoor-Ladestation konnte im Wasserkanal nachgewiesen werden. Eine Ladeleistung von 15 W ist in natürlichen Gewässerströmungen darstellbar. Im Windkanal zeigt sich, dass die WL zwar prinzipiell auch in Windströmungen betreibbar ist, dort aber unter realistischen Bedingungen kaum eine nutzbare Ladeleistung bereitstellen kann.

Danksagung

Die durchgeführte Untersuchung war Teil der Bachelor-Arbeit von Frau L. Lieb. Die Autoren danken der Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik für die dafür zur Verfügung gestellten 500 € aus Mitteln der Studienzuschüsse. Da die Fakultät nur einen Windkanal aber keinen Wasserkanal betreibt, wurden die wertvollen Untersuchungen in Wasserströmungen im Wasserkanal von Prof. Dr. F. Klug an der Fakultät EMI durchgeführt. Sowohl Prof. Dr. F. Klug als auch Prof. Dr. B. Frenzel und Dipl.-Ing. J. Stich von der Fakultät MBUT unterstützten die Arbeit mit Rat und Tat. Notwendige Vorrichtungen wurden wie immer schnell und kompetent von der OTH-Zentralwerkstatt erledigt. Allen sei herzlich für die Unterstützung gedankt.

Referenzen:

- [1] Gasch Robert, Tvele Jochen, 2011, Wiesbaden, Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, Berlin, 587, Vieweg + Teubner Verlag
- [2] Hau Erich, 2008, Windkraftanlagen – Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit, 4. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg

Kontakt:



Luca Lieb, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

l.lieb@oth-aw.de



Dipl.-Ing. (FH) Harald Wirth

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor „Strömungsmaschinen“
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

h.wirth@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Andreas P. Weiß

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor „Strömungsmaschinen“
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.weiss@oth-aw.de

Zusammenfassung

Die Elektromobilität fordert unter anderem neue Kompetenzen in der Fertigung, Montage und Prüfung, da sich durch die Elektrifizierung des Antriebs in der Automobilindustrie zahlreiche Prozesse verändern werden. Die Technologien, Bauteile und Produktionsabläufe – und die damit verbundenen Kompetenzen – des Elektroantriebs unterscheiden sich deutlich von denen des Verbrennungsmotors. Kostenstrukturen und Kompetenzen verändern sich damit grundlegend und erfordern eine strategische Neuausrichtung der Unternehmen. Durch die Konzeption einer Prozessdatenbank wird ein Überblick und Einblick in die Thematik des elektrischen Antriebes gegeben, um strategische Entscheidungen zum Einstieg in die Fertigung und Montage dieser Komponenten zu erleichtern und zielgerichtet treffen zu können.

Abstract

Due to the dramatic change in the automotive industry the production of battery electric vehicles needs for the core components new processing capabilities and technologies. Based for these challenges especially for small and medium size companies a database for the required process technologies were developed. This database should help and support to find the right decision for small and medium sized companies to be an important player also in this future and important business field. Due to the dramatic change in the automotive industry the production of battery electric vehicles needs for the core components new processing capabilities and technologies.

1 Einleitung

Die Mobilität befindet sich in einem grundlegenden Wandel. Die klima- und energiepolitischen Vorgaben können nur durch die Elektrifizierung des Antriebs erreicht werden – als reines Elektrofahrzeug oder in Verbindung mit einem Verbrennungsmotor durch einen Hybridisierung. Die Vorteile des elektrischen Antriebs sind eine deutliche Verringerung des CO₂-Ausstoßes, lokales emissionsfreies Fahren und weniger Lärmbelästigung. Bis zum Jahr 2020 wird das Modellangebot an Elektroautos mehr als verdreifacht – von derzeit 30 auf dann fast 100 Modelle. Bereits 2019 wird der Elektroantrieb – als Plug-in-Hybrid oder als Elektrofahrzeug – in praktisch allen Baureihen der Automobilhersteller vertreten sein. Die Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen werden im Jahr 2021 weltweit zwischen 2,5 % und 5 % liegen und in den Folgejahren infolge der gesetzlichen Emissions- und Verbrauchsvor-

gaben dynamisch steigen. Betrachtet man das Szenario optimistisch und vor allem vor dem Hintergrund des Dieselskandals, so dürften im Jahr 2025 weltweit rund 25 % aller neu zugelassenen Automobile Elektrofahrzeuge sein – mit einem Schwerpunkt in China. Der Wandel geht jedoch mit großen Unsicherheiten einher und betrifft Unternehmen aller Größenklassen und Wertschöpfungsbereiche.

Heute stellt der Antrieb mit Getriebe, Verbrennungsmotor und Motormanagement eine der wichtigsten Kernkompetenzen der Automobilhersteller dar. Bei den Komponenten des Elektroantriebs arbeiten die Automobilhersteller verstärkt in Kooperationen und Joint Ventures mit Unternehmen, die bereits Erfahrung mit den Komponenten des Elektroantriebs besitzen. Dies eröffnet innovativen Unternehmen anderer Branchen die Chance, Marktanteile im Automobilmarkt zu gewinnen.

Die Kernkomponente eines konventionellen Antriebstrangs bildet der Verbrennungsmotor. Zusätzlich lassen sich noch das Getriebe, die Kraftstoffversorgung und die Abgasanlage hinzuzählen. Diese Komponenten stellen zugleich den Umfang dar, der bei einem Wechsel zum elektrischen Antrieb entfallen wird. Lediglich ein einfaches Getriebe wird auch im Elektrofahrzeug verwendet werden. Der Antriebstrang des Elektrofahrzeugs besteht im Wesentlichen aus dem Elektromotor, der Leistungselektronik, der Batterie und einem Hochspannungsnetz. Somit wäre ein deutlicher Rückgang im Wertschöpfungsumfang insbesondere beim Motor zu verzeichnen. Während konventionelle Verbrennungsmotoren aus etwa 1400 Bauteilen bestehen, sind es beim Elektromotor nur noch ca. 200 Bauteile.

Für die Unternehmen der Automobilindustrie stellt sich die Herausforderung, diese Wertschöpfungsrückgänge zu kompensieren. Gleichzeitig bieten die neuen Wertschöpfungsprozesse des Elektroantriebs auch ein großes Wachstumspotenzial. Durch die Veränderungen in der Wertschöpfungsstruktur ergeben sich völlig neue Technologiefelder und Chancen, da bisher noch nicht eingesetzte oder völlig neu zu entwickelnde Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen werden. Von dieser Veränderung sind insbesondere Zulieferer betroffen, deren Fokus bislang auf Komponenten wie Motoren und Motorenteile, Abgasanlagen, Elektronik und Getrieben lag, da diese Fahrzeugkomponenten in Elektrofahrzeugen wegfallen.

Durch die Konzeption einer Prozessdatenbank mit Schwerpunkt Produktion soll ein Überblick und Einblick in die Thematik des elektrischen Antriebes gegeben werden, um strategische Entscheidungen zum Einstieg in die Fertigung und Montage dieser Komponenten zu erleichtern und diese zielgerichtet treffen zu können.

2 Hauptkomponenten der Antriebsstruktur

Die Antriebsarchitektur der Elektrofahrzeuge wird dahingehend vereinfacht, da sie sich im Wesentlichen aus drei Kernbestandteilen (Kernkomponenten/Hauptkomponenten) zusammensetzt:

- Energiespeicher (Batterie)
- Energiewandler (Elektromotor)
- Steuergeräte (Leistungselektronik)

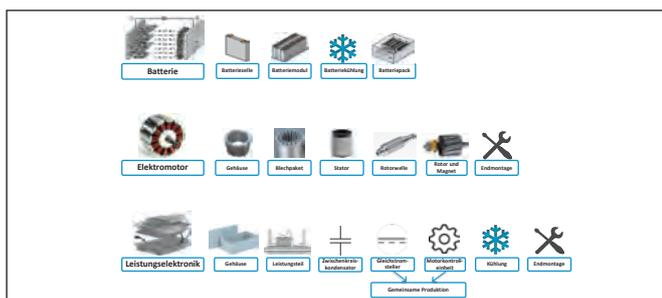


Abbildung 1: Hauptkomponenten der Antriebsarchitektur von Elektrofahrzeugen

2.1 Prozessdatenbank für die Batterie

Nachfolgend wird ein Überblick über die herausgearbeiteten Produktionsverfahren gegeben, die in der Detailstudie umfassend beschrieben wurden. Abbildung 2 gibt eine Zusammenstellung der erarbeiteten Produktionsverfahren für die „Prozessdatenbank Batterie“. Dabei soll diese einen Einblick in die Thematik der Batterieproduktion geben und einen Überblick für die nötigen Fertigungsverfahren vermitteln. Batterien können heute höchst unterschiedlich gefertigt werden. Daher enthält die Abbildung keine Einzelheiten individueller Hersteller, sondern gibt einen allgemeinen Überblick der für alle aktuellen Batterien der Lithium-Ionen Generation.

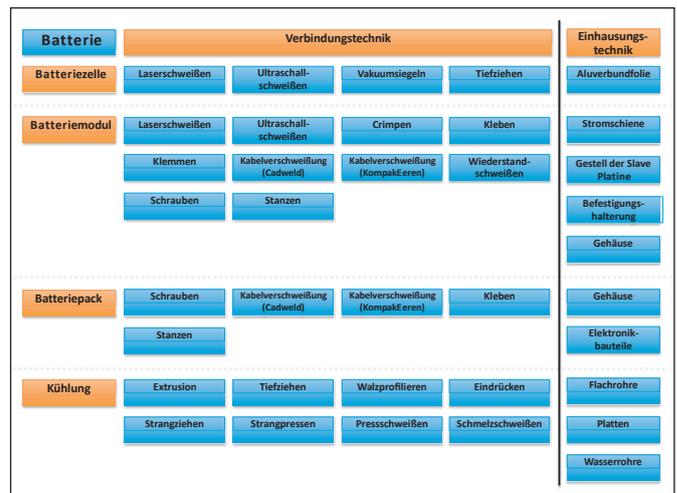


Abbildung 2: Prozessdatenbank für die Batterie

2.2 Prozessdatenbank für den Elektromotor

Neben der Batterie ist der Elektromotor ein weiterer wichtiger Bestandteil des Antriebstrangs und wird aus folgenden Einzelkomponenten zusammengesetzt:

- Gehäuse
- Blechpaket
- Stator
- Rotorwelle
- Rotor und Magnet

Um den Herstellungsprozess abzurunden, wird im Anschluss noch der Zusammenbau der Einzelkomponenten erläutert. Aufbauend auf den in der Detailstudie beschriebenen Fertigungsverfahren wurde die Prozessdatenbank für den Elektromotor erstellt. Abbildung 3 stellt zusammenfassend die Produktionsschritte dar. Die Prozessdatenbank des Elektromotors besteht aus vielen unterschiedlichen Fertigungsverfahren. In den umrandeten Kästchen werden die Prozesse mit Begriffen zusammengefasst. Auch der Umfang jeder Teilkomponente wird erkennbar. So binden Rotor/Magnet, Stator und Blechpaket viele unterschiedliche Fertigungskompetenzen, wohingegen das Gehäuse, die Rotorwelle und die Endmontage nur über eine überschaubare Anzahl von Fertigungsverfahren

verfügen. Vergleicht man die Prozessdatenbank der Batterie und die des Elektromotors, dann wird ersichtlich, dass hier eine Kompetenzverschiebung stattgefunden hat.

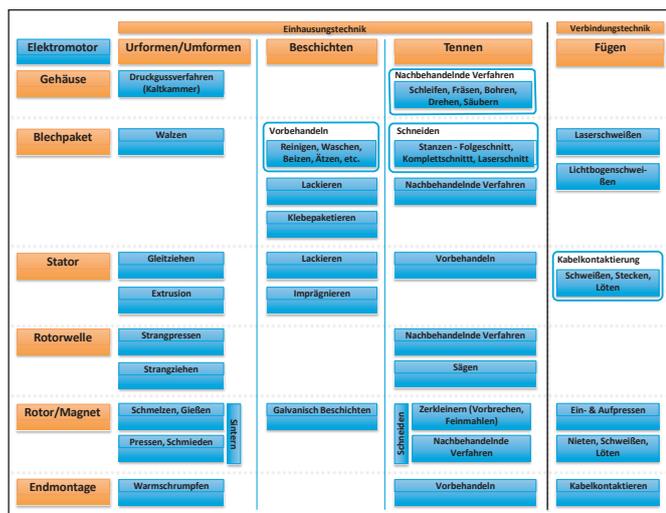


Abbildung 3: Prozessdatenbank für den Elektromotor

2.3 Prozessdatenbank für die Leistungselektronik

Die Leistungselektronik setzt sich aus folgenden Baugruppen zusammen:

- Leistungsteil
- Gleichstromsteller
- Zwischenkreiskondensator
- Motorkontrolleinheit
- Gehäuse
- Kühlung

Hierbei erfüllt das Leistungsteil die Hauptaufgabe, indem es den Gleichstrom aus der Batterie in eine für den Elektromotor nutzbaren Größe, den Wechselstrom, möglichst verlustfrei umwandelt. Die Leistungselektronik setzt sich dabei aus Dioden, IGBT's, DCB-Layern, Bonddrähten, Emitter und Kollektor zusammen.

Aufbauend auf den in den Detailstudien beschriebenen Produktionsverfahren wurde die Prozessdatenbank erstellt. So wie die Prozessdatenbank des Elektromotors besteht die Prozessdatenbank der Leistungselektronik aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Produktionsverfahren. Abbildung 4 zeigt die Prozessdatenbank für die Leistungselektronik. Zu erkennen ist der ähnliche Grundaufbau, verglichen mit der Prozessdatenbank des

Elektromotors. Auch hier verschiebt sich der Schwerpunkt der Bearbeitung auf die Einhausungstechnik. Deutlich ist auch die Ballung an Verfahren beim Leistungsteil zu erkennen. Das Leistungsteil und seine Halbleiter nehmen augenscheinlich den größten Teil am Fertigungsverfahren bei der Leistungselektronik ein. Bis auf wenige Ausnahmen enthält das Leistungsteil mit den Halbleitern in der Einhausungstechnik hauptsächlich spezifische, teils sensible und aufwändige Produktionsschritte. Es liegt der Schluss nahe, dass diese Verfahren nur in der Großserienfertigung verwendet und die OEM die Leistungen extern beziehen werden. Die Gehäusefertigung und die Endmontage enthalten eher klassische Verfahren, daher ist es gut vorstellbar, dass in der Automobilindustrie diese Wertschöpfung intern durchgeführt werden könnte.

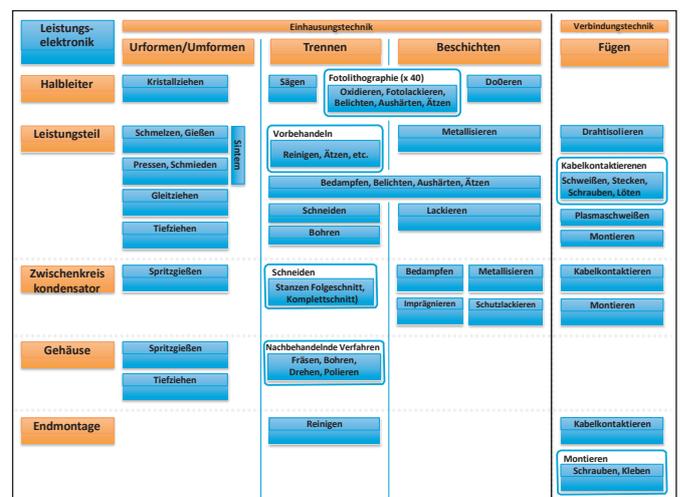


Abbildung 4: Prozessdatenbank für die Leistungselektronik

3 Ergebnis / Zusammenfassung / Ausblick

Bei den in dieser Ausarbeitung dargestellten Prozessdatenbanken der Batterie, Elektromotor und Leistungselektronik wurden die am wahrscheinlichsten eingesetzten Fertigungsverfahren aufgezeigt. Durch die dynamische Entwicklung auf diesem Sektor wird es in der Zukunft modifizierte und alternative Produktionsverfahren geben. Der Aufbau der Prozessdatenbank gibt einen Überblick und Einblick in die Thematik des elektrischen Antriebes, um strategische Entscheidungen von Unternehmen zum Einstieg in die Fertigung und Montage dieser Komponenten zu erleichtern und diese zielgerichtet treffen zu können. Ferner wird übergreifend ein Verständnis über den Aufbau und die Funktionen des Antriebstrangs vermittelt.

Referenzen:

- [1] Kampker, Achim: Elektromobilproduktion. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014
- [2] Vinaricky, Eduard: Elektrische Kontakte, Werkstoffe und Anwendungen: Grundlagen, Technologien, Prüfverfahren. 3. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, 2016
- [3] Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo: Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010
- [4] Korthauer, Reiner: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2013

Kontakt:



Prof. Dr. Franz Magerl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

f.magerl@oth-aw.de

Christopher Fleischmann, M.Sc.
Irina Leher, B.Eng.
Reinhold Hartwich, B.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Marc Hainke
Prof. Dr. med. habil. Stefan Sesselmann

Ein neuer Ansatz zur Berechnung von Spannungen und Verformungen von Implantaten in Echtzeit

Zusammenfassung

Der Bruch von Osteosyntheseplatten ist ein seltenes, aber für den betroffenen Patienten folgenschweres Ereignis, das zwangsläufig eine zusätzliche Operation erfordert. Bei der Konstruktion solcher Platten muss immer ein Kompromiss zwischen der bestmöglichen Stabilität, der optimalen Passform an anatomische Strukturen, der Biokompatibilität und dem Gewicht des Implantats gefunden werden. Großen Einfluss auf die Stabilität haben dabei die Anzahl und die Größe der Schraubenlöcher in der Platte. Mithilfe der Finite-Elemente-Analyse kann abgeschätzt werden, ob virtuell konstruierte Platten definierten Belastungen standhalten oder brechen. Solche Analysen können jedoch sehr zeitaufwändig sein. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurde eine neue Softwarelösung (ANSYS Discovery Live) entwickelt, mit der Spannungen und Verformungen in Echtzeit berechnet werden können. In dieser Studie wurden die Simulationsergebnisse der neuen Software mit einer etablierten Finite-Elemente-Analyse-Softwarelösung verglichen, um zu untersuchen, ob ANSYS Discovery Live eine angemessene Genauigkeit für den Einsatz in der Medizintechnik bietet.

Abstract

Breakage of osteosynthesis plates is a rare but for the patient serious incident, enforcing revision surgery. Designing such plates is always a compromise of optimal stability, best fit to anatomical structures, biocompatibility and implant weight. The size and quantity of screw holes have a strong impact on plate stability. Finite element analysis helps to estimate whether a virtual constructed plate will withstand stresses or not. Nevertheless, such an investigation can be very time-consuming. As a solution of this problem, a new software system (ANSYS Discovery Live) has been released to estimate stresses instantly. In this work simulation results using the new software were compared to results using a conventional finite element analysis software to investigate whether ANSYS Discovery Live is accurate enough for the use in medical engineering.

1 Einleitung

Der Bruch von Osteosyntheseplatten kann zu komplizierten Folgeoperationen führen. Gründe für Implantatbrüche sind vielfältig. Wichtige Faktoren sind die Anzahl und Größe der Schraubenlöcher, die Anzahl der in die Löcher applizierten Schrauben oder das Einbringen der Schrauben zu nahe am Frakturspalt [1]. Neben der Stabilität müssen Osteosyntheseplatten aber noch weitere klinische Anforderungen erfüllen. Insbesondere eine gute Anpassung an die Anatomie des Knochens, die Biokompatibilität und das Gewicht des Implantats sind entscheidende Faktoren [2]. Parameter wie

die Plattengröße, die Plattenpositionierung und die Anzahl der Schraubenlöcher müssen also optimiert werden, um einen Bruch der Platte zu vermeiden.

Die Finite-Elemente-Methode (FEM) ist ein leistungsstarkes virtuelles Werkzeug, um die Kosten für das Prototyping von Osteosynthese-Implantaten zu senken und Entwicklungsprozesse zu beschleunigen. Die FEM hat ein breites Anwendungsspektrum in der Biomechanik. Neben der Berechnung von Spannungen und Deformationen anatomischer Strukturen wie Knochen und Gelenken werden auch neue Implantatdesigns routinemäßig mithilfe von FEM bewertet.

Trotz einer deutlichen Beschleunigung gegenüber dem konventionellen Prototyping, kann das Verfahren auch zeitaufwendig sein – vor allem bei wiederholten Konstruktionsoptimierungen, die jedes Mal eine erneute Vernetzung und die Neuberechnung des Modells erfordern. Ein neuer, vielversprechender Ansatz ist ANSYS Discovery Live (ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA). Diese Software bietet eine innovative Echtzeit-FE-Lösung zur Bewertung von Spannungen, Verschiebungen oder anderen mechanischen Parametern. Die Objektgeometrie kann einfach bearbeitet werden, indem beispielsweise die Kanten des 3D-Modells durch Ziehen mit der Maus verschoben werden. Neue Ergebnisse werden ohne zeitaufwändiges Erneuern und Anpassen der Randbedingungen in Echtzeit generiert.

Ziel dieser Studie war die Bewertung der neuen Software-Lösung anhand eines Vergleichs der Berechnungen von ANSYS Discovery Live mit der bewährten FE-Lösung ANSYS Workbench (ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA). Für den Vergleich dieser beiden Softwarelösungen wurden die maximale von Mises-Spannung, die Spannungskontur und die maximale Verformung ausgewertet.

2 Material und Methoden

In dieser Arbeit wurde exemplarisch eine palmar-montierte Titanplatte zur Osteosynthese von Frakturen des distalen Radius für die FEM verwendet (Abbildung 1). Ein CT-Scan lieferte ein 3D-Modell der Platte. Anschließend wurde Catia V5 (Dassault Systèmes, Vélizy-Villacoublay, Frankreich) verwendet, um die Geometrie zu rekonstruieren. Die Platte wurde dann mit tetraedrischen Elementen unter Verwendung von HyperWorks (Altair Engineering Inc., Troy, Michigan, USA) vernetzt. Das Modell hat eine Gesamtzahl von ca. 1×10^6 Elementen. Der Elastizitätsmodul betrug $E = 140 \text{ GPa}$, die Querkontraktionszahl $\nu = 0,33$.

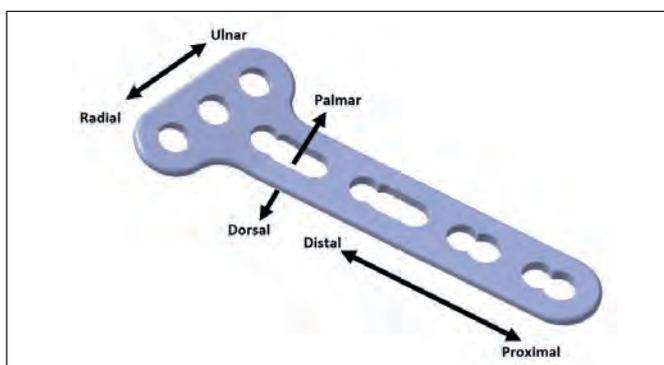


Abbildung 1: Rekonstruierte palmar-montierte Osteosyntheseplatte für den distalen Radius

Die Randbedingungen wie Druck- und Biegekräfte wurden, wie in der Literatur angegeben, angewendet [3, 4]. Für den Drucklastfall wurde die Platte an den vier proximalen Langlöchern starr fixiert. Die Kraft wurde am distalen Ende mit einer Größe von $F = 2000 \text{ N}$ aufgebracht.

Beim Vierpunkt-Biegetest wurde die Platte mit einer maximalen Kraft von $F = 250 \text{ N}$ belastet [4]. Der Abstand zwischen den beiden Stütz- und den beiden Ladeflächen betrug 10 mm , wobei sich die erste Fixierung am proximalsten Loch befand.

Für den Vergleich der verschiedenen Softwarelösungen wurden die maximale von Mises-Spannung, die Spannungskontur und die maximale Verformung berechnet. Die Verschiebung und die Spannung für die Kompression wurden am Knoten mit dem Maximalwert gemessen. Die Beanspruchung für den Vierpunktbiegetest wurde an definierten Messpunkten ausgewertet, um die Bewertung von Spannungssingularitäten aufgrund der Randbedingungen zu vermeiden.

3 Ergebnisse

Die in ANSYS Discovery Live berechnete maximale Verschiebung beträgt $0,0185 \text{ mm}$ für den Drucklastfall und $0,0487 \text{ mm}$ für den Vierpunktbiegetest. ANSYS Workbench zeigt ähnliche Ergebnisse mit Werten von $0,0189 \text{ mm}$ bzw. $0,0512 \text{ mm}$.

Darüber hinaus liegt die von Mises-Spannung mit $26,09 \text{ MPa}$ bzw. $33,22 \text{ MPa}$ für den Vierpunktbiegeversuch an den Messpunkten in einem ähnlichen Bereich. Für den Druckversuch beträgt die maximale von Mises-Spannung $467,04 \text{ MPa}$ bzw. $457,42 \text{ MPa}$. Die Spannungskonturen der Simulationen sind bis auf leichte Aberrationen vergleichbar (Abbildung 2).

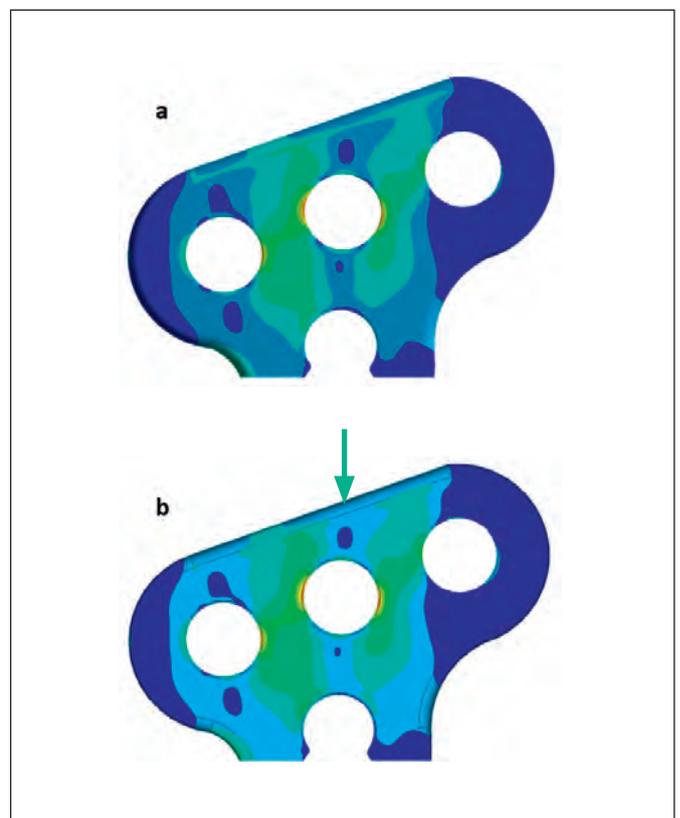


Abbildung 2: Von Mises-Belastungskonturen für a) ANSYS Workbench und b) ANSYS Discovery Live

4 Diskussion

Trotz geringer Abweichungen von Verschiebungen und Spannungen simuliert ANSYS Discovery Live ähnliche Spannungskonturen. Obwohl die Ergebnisse von ANSYS Discovery Live den Ergebnissen von ANSYS Workbench sehr ähnlich sind, sollte die maximale Belastung nicht als Indikator für kritische Bruchwerte verwendet werden. Nichtsdestotrotz sind zumindest Stellen von Spannungskonzentrationen (z. B. Kerbspannung) bestimmbar. Entsprechend können Geometrien einfach und schnell bearbeitet werden, um Bereiche mit hoher Beanspruchung zu verstärken.

5 Fazit

Diese Vergleichsstudie weist einige Einschränkungen auf: ANSYS Discovery Live bietet keine Möglichkeit, die Anzahl und Art der Elemente oder die Netzqualität zu überprüfen. Dies kann vor allem bei komplexen Geometrien zu ungenauen Ergebnissen führen. Da ANSYS Discovery Live nicht für die FEM von anisotropem Material ausgelegt ist, kann die Software zur Analyse des Implantats selbst verwendet werden, jedoch nicht für Berechnungen von Platten, die am anisotropen Knochen fixiert sind. Somit ist ANSYS Discovery Live ein geeignetes Werkzeug für einen beschleunigten vorläufigen Konstruktionsprozess von Implantaten. Um das in-vivo-Verhalten des auf einen Knochen montierten Implantats zu bewerten, müssen weiterhin FEM-Lösungen verwendet werden, die auch mit anisotropen Materialeigenschaften arbeiten können, wie z. B. ANSYS Workbench.

Referenzen:

- [1] Lv H, Chang W, Yuwen P, Yang N, Yan X, Zhang Y. Are there too many screw holes in plates for fracture fixation? *BMC Surg.* 2017 Apr 21;17(1):46.
- [2] Tkany L, Hofstätter B, Petersik A, Miehl J, Wartzack S, Sesselmann S. New Design Process for Anatomically Enhanced Osteosynthesis Plates. *Wiley Online Library* 2019.
- [3] Okazaki Y, Gotoh E, Mori J. Strength-Durability Correlation of Osteosynthesis Device Made by 3D Layer Manufacturing. *Materials* 2019
- [4] Standard Specification and Test Method for Metallic Bone Plates, ASTM F382 - 17, *Book of Standards Volume: 13.01*

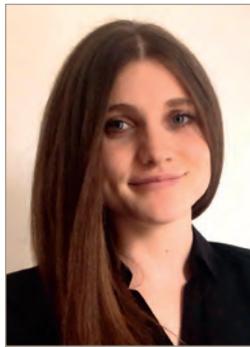
Kontakt:



Christopher Fleischmann, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.fleischmann@oth-aw.de



Irina Leher, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Reinhold Hartwich, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.hartwich@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Marc Hainke

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.hainke@oth-aw.de



Prof. Dr. med. habil. Stefan Sesselmann

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

s.sesselmann@oth-aw.de

Zusammenfassung

Die Fortschritte der Laborautomation und Digitalisierung von Messaufgaben schaffen neue Anwendungen für elektroanalytische Methoden in vielfältigen Anwendungsfeldern. Komplexe Algorithmen eröffnen eine Welt leistungsfähiger Werkzeuge für die Messdatenanalyse und Auswertung in Echtzeit. Mit transienten Techniken wie der Cyclovoltammetrie haben wir die Redoxprozesse an Flüssig-Fest-Grenzflächen studiert. Zur Analyse von Lösungen und Gasen wird eine Dreiecksspannung an Metalloxidelektroden im Testmedium angelegt und die zeitabhängige Stromantwort aufgezeichnet. Die Auswertung des Voltagramms wird durch überlagernde Peaks erschwert. Für die numerische Analyse wurde ein Python erstellt, das Peaks durch kontinuierliche Wavelet-Transformation verlässlich erkennt. Die Form des Voltagramms kann darüber hinaus mit nichtlinearen Regressionsmethoden nach Gauß-, Lorentz- oder Voigt-Profilen analysiert werden. Dies ermöglicht uns, die Geheimnisse elektrochemischer Prozesse an Sensoren genauer und schneller als mit konventionellen Methoden zu entschlüsseln.

Abstract

The increasing progress of laboratory automation and the digitization of measuring procedures create new applications of electroanalytical methods in various fields of application. Complex algorithms open up a world of powerful tools for analyzing measurement data and drawing conclusions in real time. We used transient techniques such as cyclic voltammetry with respect to the characterization of the reduction and oxidation processes at liquid-solid interfaces. With analyzing solutions and gases, when a triangle voltage is applied to metal oxide electrodes in the test medium, marked peaks occur in the time-dependent current response. The evaluation of the voltammogram is complicated by overlapping peaks. For numerical analysis, a Python program was written, which delivers reliable peak detection by continuous wavelet transformation. Moreover, the shape of the voltammogram can be analyzed by the help of non-linear least-squares fit with respect to Gaussian, Lorentzian or Voigt profiles. This enables us to extract the secrets of electrochemical processes at electrochemical sensors far more accurately and faster than with conventional methods.

1 Cyclic voltammetry

Cyclic voltammetry denotes a widespread electrochemical method for the investigation of redox processes and cover layers on electrodes, which interact with the active species in the surrounding electrolyte solution. While a triangular voltage is applied to the cell with a defined sweep rate v , the electric current response is measured.

$$v = \frac{dE}{dt} \quad (1)$$

The voltammogram is the resulting current-potential curve, and shows redox reactions and irreversible decomposition processes at specific potential values (Figure 1). For the study of electrode materials, a three-electrode arrangement is used in practice, consisting of a working electrode, a reference and a counter electrode. The measured current is composed of the capacitive current which results from charging the electrode double layer, and the faradaic current of the battery-like redox reaction, which corresponds to the electric charge trapped below the peak area [1].

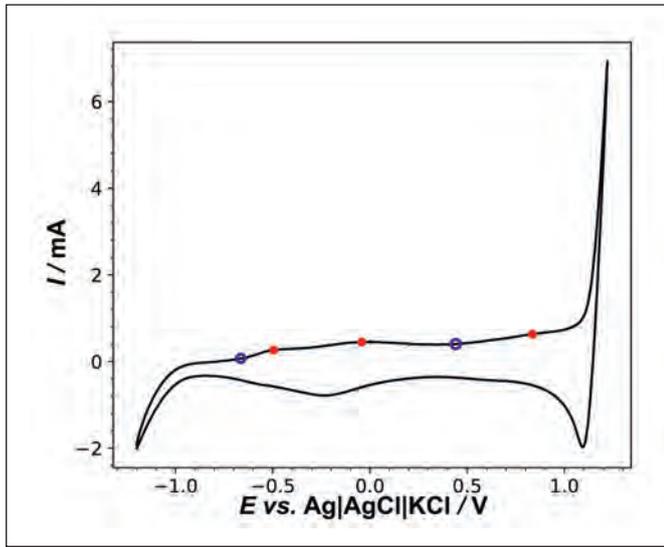


Figure 1: Cyclic voltammogram of an iridium dioxide working electrode (size: 1 cm²) against a silver-silver chloride reference and a platinum counter electrode in a solution of hydrochloric acid at pH 8.4 and a sweep rate of 100 mV/s. Numerically detected oxidation potentials (red points) and depression points (blue).

2 Automated peak detection

In the cyclic voltammogram, the redox peaks are local extrema of the current-voltage transient. Unfortunately, several electrode processes superpose forming a single broad signal. As well, the signals in technical applications are noisy, especially at low electric currents. Numerical differentiation increases noise. Therefore we chose continuous wavelet transformation for the detection of voltammetric peak currents and potentials.

Continuous Wavelet Transform (CWT) [2] is a linear multi-resolution data processing method, which can be used to decompose a signal into its elementary contributions. For an arbitrary function $f(x)$, the CWT-transformed signal W_f is achieved by the calculation rule in equation (2).

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\Psi_{ab}}(x) dx \quad (2)$$

Ψ_{ab} is the conjugate complex function of the wavelet, which is formed by scaling the so-called mother wavelet Ψ using the parameters a and b according to equation (3).

$$\Psi_{ab} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (3)$$

There are specific functions for various applications such as the Poisson and the Morlet wavelet. We applied the Ricker or Mexican hat wavelet (Figure 2), which obeys the mathematical expression (4). The parameter σ is known as the variance of the wavelet, which is given by half of the curve width at the zero line [3].

$$\Psi = \frac{2}{\sqrt{3\sigma\pi^4}} \left(1 - \left(\frac{x}{\sigma}\right)^2\right) \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

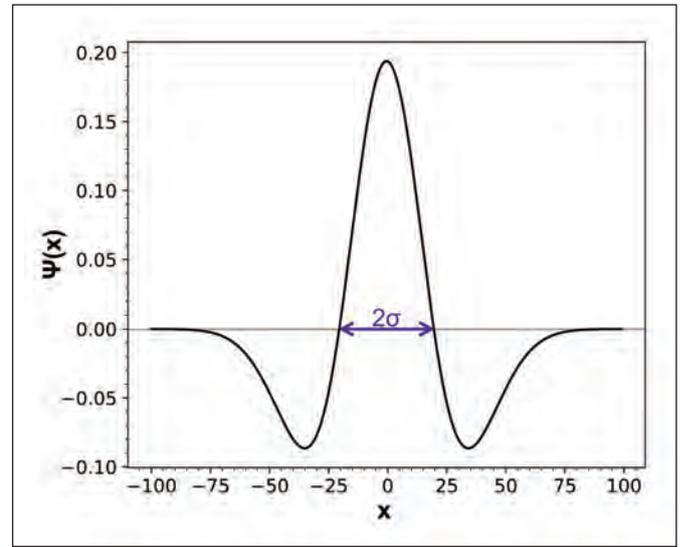


Figure 2: Ricker wavelet having a baseline width of 40 ($\sigma = 20$).

Practical peak detection. A PYTHON program, written for automated peak detection, performs the smoothing of the imported data. The SciPy library provides useful functions for the wavelet transformation [4]. For a quick peak detection at a signal y the following function returns the indices of the values in the signal array.

```
import scipy.signal as signal
Peaks = signal.find_peaks_cwt(y, sigma)
```

The CW-transformation of the current signal against the measured voltage employs a Ricker wavelet and a defined variance. After transformation, the positive maxima (red points in Figure 3) indicate the current peaks of the oxidation wave in the original cyclic voltammogram (red points in Figure 1). The negative minima correspond to the depression points (blue circles in Figure 3) and are required for the baseline correction of the voltammogram.

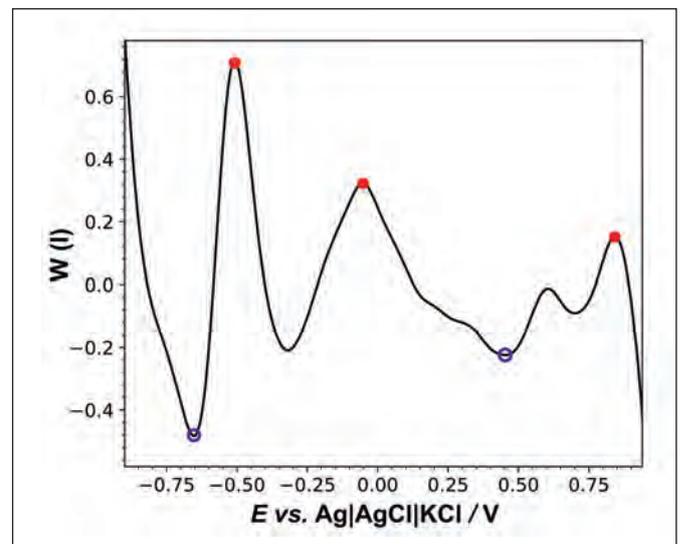


Figure 3: Oxidation wave of the cyclic voltammogram in Figure 1 after Ricker wavelet transformation. Maxima at -0.508 V, -0.0526 V, and 0.842 V (red) correspond to voltammetric current peaks, minima (blue) at -0.653 V and -0.453 V indicate the baseline.

3 Baseline correction

The internal resistance of the cell causes the slope of the voltammogram. As well, the faradaic current of the redox reaction must be separated from the superimposed current of double layer charging. The electrochemical literature [5] considers two consecutive current peaks for a redox process $A \rightleftharpoons B \rightleftharpoons C$. However, after the first oxidation reaction, the current does not reach again the original value near zero. Therefore we subtract the base current given by the straight line between the depression points before and after the peak combination (Figure 4). The slope of the baseline $\Delta I/\Delta E$ is the internal conductance of the cell, which is mainly determined by the electrolyte resistance. E is the electrode potential measured against a reference electrode. The voltammetric charge Q , which is the area under the current-voltage peaks, characterizes the faradaic reaction and directly depends on the concentration of the electroactive species.

$$Q = \frac{1}{\nu} \int_{E_1}^{E_2} I(E) dE \quad (5)$$

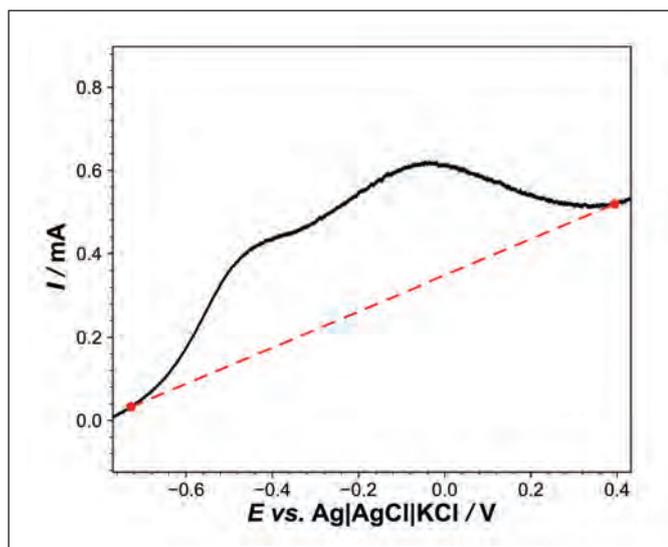


Figure 4: Current response of two consecutive redox reactions at an IrO_2 electrode (see Figure 1). Baseline in red: $I(E) = 0.323 E + 0.274$.

4 Peak deconvolution

With overlapping peaks, the potential of each redox process depends on the total current. The faradaic current of a single peak, after baseline correction, can be obtained by approximation to a Gaussian or Voigt normal distribution. The PYTHON package [6] provides tools for curve fitting and deconvolution by non-linear least-squares fit in the LMFIT library. The most useful statistical model is applied to each current peak in the corrected potential range. The Levenberg-Marquardt algorithm finds proper parameters to approximate the models to the measured data. The listing of the fitting function of any number of peaks is shown in Listing 1.

```
import numpy as np
import lmfit

def PeakFit(x, y, Peaks, PeakModel):
    composite_model = None
    params = None
    x_min = np.min(x)
    x_max = np.max(x)
    y_max = np.max(y)
    x_range = x_max - x_min

    # Set up a model for each peak
    for i, p in enumerate(Peaks):
        if PeakModel in ['GaussianModel', 'SkewedGaussianModel', 'LorentzianModel', 'VoigtModel']:
            # Declare the model object
            model = getattr(lmfit.models, PeakModel)(prefix = 'Model(%d)_' % i)
            model.set_param_hint('sigma', min=1e-6, max=x_range) # Parameter limits
            model.set_param_hint('center', min=x_min, max=x_max)
            model.set_param_hint('height', min=1e-6, max=1.1*y_max)
            model.set_param_hint('amplitude', min=1e-6) # Initial values
            if PeakModel == 'SkewedGaussianModel':
                model.set_param_hint('gamma', min=0, max=1)
                spec_params = {
                    'height': y[p],
                    'sigma': x_range / len(x) * (len(x)/len(Peaks)),
                    'center': x[p],
                    'gamma': 0
                }
            else:
                spec_params = {
                    'height': y[p],
                    'sigma': x_range / len(x) * (len(x)/len(Peaks)),
                    'center': x[p]
                }
            else:
                raise NotImplemented('model not implemented yet')
            model_params = model.make_params(**spec_params)

    # Setting up the composite model and parameters
    if composite_model is None:
        composite_model = model
    else:
        composite_model = composite_model + model
    if params is None:
        params = model_params
    else:
        params.update(model_params)

    # Levenberg-Marquardt fitting + return of the results
    return composite_model.fit(y, params, kws, method='leastsq')
```

Listing 1: Peak fitting function width LMFIT for any number of peaks in the array x and y.

With the resulting curves, the voltammetric charge Q of the respective reactions can be calculated according to equation (5).

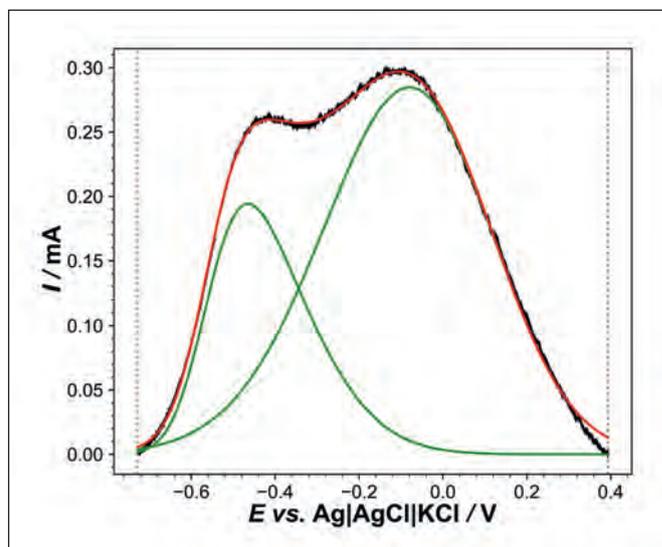


Figure 5: Cyclic voltammogram of a consecutive redox reaction at an IrO_2 electrode (see Figure 1) after baseline correction. Green lines: skewed Gaussian normal distributions. Red: Superposition of the model functions.

The skewed Gaussian normal distribution obeys equation (6).

$$f(x) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma(x-\mu)}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right) \quad (6)$$

erf is the Gaussian error function, A amplitude, μ center, σ standard deviation, γ skewness [6]. With this, the left peak in Figure 5 at -0.464 V includes a voltammetric charge of 0.591 mC. Under the right peak at -0.079 V, the charge is 1.43 mC at a scan rate of 0.1 V/s.

5 Conclusions

The python analyzing program serves a most reproducible and quick method to analyze oxidation and reduction peaks in cyclic voltammograms, which we try

to apply in technical applications. Continuous wavelet transformation detects current peaks well, especially at poor current densities. Baseline subtraction separates faradaic and double layer charging currents. Deconvolution releases overlapping peaks. For further consideration of the electrochemical processes, knowledge is required about redox stoichiometry, diffusion coefficients, surface area, and material structure. We have been working on the calculation of specific ionic activities with respect to novel pH sensors.

Referenzen:

- [1] P. Kurzweil, O.K. Dietlmeier, Elektrochemische Speicher, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [2] M. Jakubowska. Dedicated wavelet for voltammetric signal analysis. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 603 (2007) 113–123.
- [3] L. Nie, S. Wu, J. Wang, L. Zheng, X. Lin, L. Rin. Continuous wavelet transform and its application to resolving and quantifying the overlapped voltammetric peaks. *Analytica Chimica Acta* 450 (2001) 185–192.
- [4] E. Jones, E. Oliphant, P. Peterson, et al. SciPy: Open Source Scientific Tools for Python. 2001. URL: <https://www.scipy.org/>. Access: Jan 2019.
- [5] A. J. Bard, L. R. Faulkner. *Electrochemical Methods - Fundamentals and Applications*. New York: John Wiley, 2001.
- [6] M. Newville, T. Stensitzki, D. B. Allen, A. Ingargiola. LMFIT: Non-Linear Least-Square Minimization and Curve-Fitting for Python. Zenodo, 2014. URL: <http://doi.org/10.5281/zenodo.11813>. Access: Jan 2019.

Kontakt:



Josef Schottenbauer, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

jo.schottenbauer@oth-aw.de



Sebastian Chalupczok, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

s.chalupczok@oth-aw.de



Dipl.-Phys. Christian Schell

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ch.schell@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de

Die PSZ electronic GmbH ist ein Produzent für maßgeschneiderte Kabelkonfektionen, elektromechanische Baugruppen, Systemkomponenten, Schaltschränke, Kunststofftechnik und Rapid Prototyping für nahezu alle Branchen



Innerhalb von nur 16 Jahren hat sich das Unternehmen aus Vohenstrauß rasant entwickelt. Mit höchsten deutschen Qualitätsstandards und internationalen Produktionsstandorten bietet die Firmengruppe als Auftragsfertiger ihren Kunden neben Kabelkonfektionen und Kabelsätzen, Schaltschränken und komplexen Baugruppen auch vollständige Systemlösungen an. Mit dem Ausbau der Produktspektren, beabsichtigt das Unternehmen, den Umsatz weiter zu steigern.

Die Firmengruppe ist mit über 1.350 Mitarbeitern an vier Standorten weltweit vertreten. Somit wird dem Slogan „in der Oberpfalz dahoam, aber in der Welt zuhause“, Rechnung getragen.

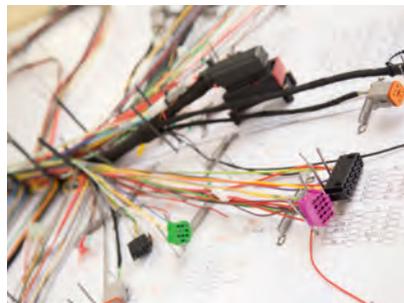


Standort Vohenstrauß

Die Produktionsstätten befinden sich neben Vohenstrauß in Tschechien, Tunesien und Albanien. Gegründet wurde die PSZ electronic GmbH 2003 und hat am Standort Vohenstrauß mittlerweile eine Stammebelegschaft von rund 90 Mitarbeitern erreicht - Tendenz steigend.

Die Vielseitigkeit und Flexibilität der PSZ electronic GmbH schätzen viele Branchen. Dazu zählen die Bereiche aus der Heizungs- und Klimatechnik, der Medizintechnik, dem Anlagen- und Maschinenbau ebenso aus dem Sonderfahrzeugbau, der Logistik,

der Bau- sowie der Landwirtschaft. Darunter befinden sich namhafte Kunden, die in den jeweiligen Branchen zu den Weltmarktführern zählen.



Kabelkonfektionen gehören mit zu den Kernkompetenzen der Unternehmensgruppe

Als Ausbildungsbetrieb bietet das Unternehmen für junge Menschen die Chance, in den verschiedensten kaufmännischen und technischen Berufsbildern einen interessanten, abwechslungsreichen sowie äußerst praxisbezogenen Beruf in einer prosperierenden Region zu erlernen. Im personellen Bereich werden künftige Bedarfe mit einer durchdachten Personalentwicklung nachhaltig verfolgt, um diese Bedarfe zum gegebenen Zeitpunkt bereitzustellen. Mit zahl- und umfangreichen berufs begleitenden Weiterbildungen werden besonders engagierte und geeignete Mitarbeiter gefördert. Dies berührt vor allem die Ebene der Techniker und der Fachkaufleute.



Komplexe Baugruppen und Systemkomponenten erfordern hohes technisches Know How

Mittlerweile hat sich auch der Akademisierungsgrad für die immer anspruchsvolleren Herausforderungen für die Zukunft wesentlich erhöht. Somit bietet die PSZ electronic GmbH auch hochqualifizierten Kräften eine langfristige und zukunftsweisende Perspektive.

Zusätzlich wird aktiv der vielbesagten Abwanderung aus dem ländlichen Raum entgegengewirkt und erhöht die Attraktivität und Lebensqualität für diese Berufsgruppen in dieser Region.

Bei der Umsetzung der unternehmerischen Ziele liegt der Fokus bei der konsequenten Weiterentwicklung der Geschäftsfelder mit der Absicht, den vorhandenen Kundenbestand weiter aus- und aufzubauen. Unter Anderem steht die Nachhaltigkeit in Verbindung mit einem herausragenden Kundenservice zur Bedienung des Marktes im Fokus.

Diese Vorgehensweise wirkt sich für die Stadt Vohenstrauß besonders positiv aus und sichert als einer der größten Arbeitgeber am Ort den Wirtschaftsraum für die Zukunft und den damit verbundenen Arbeitsplätzen.

Branche:

Herstellung und Vertrieb von Systemkomponenten

Gegründet: 2003

Mitarbeiter: > 1.350 (Gesamt)

Standorte: 6 (in vier Ländern)

PSZ electronic GmbH

Im Gstaadach 6
92648 Vohenstrauß
Telefon: 09651 / 924 117 – 0
www.psz-electronic.com
info@psz-electronic.com



Instrumentelle Analytik: Alterungs- und Zersetzungsmechanismen natürlicher Fette

Zusammenfassung

Das Zersetzungsverhalten natürlicher Fettsäureester ist für technische Isolationsflüssigkeiten und Dielektrika wichtig. Wir haben die Alterungsmechanismen von Fetten mit instrumentell-analytischen Methoden untersucht. Mit TGA-IR- und GC/MS-Analysen sind freie Fettsäuren und ungesättigte Kohlenwasserstoffe im thermisch belasteten Esteröl nachweisbar.

Abstract

The decomposition properties of natural fatty acid esters are important for technical insulation fluids and dielectrics. We investigated the aging mechanisms of fats using instrumental analytical methods. TGA-IR- and GC/MS-analyses suggest free fatty acids and unsaturated hydrocarbons which are formed in the ester oil during thermal stress.

1 Einleitung

Natürliche Esteröle spielen nicht nur für die Ernährung eine Rolle, sondern werden neuerdings zur Kühlung und als Dielektrikum auch in Transformatoren verwendet, wo sie die eingeführten, umweltschädlichen Mineralöle ersetzen sollen [1–4]. Als biologisch abbaubare Alternativen zu Kohlenwasserstoffen haben sich in den letzten Jahren synthetische Ester und natürliche Pflanzenöle etabliert. Im Hinblick auf Alterung und Brandlast haben wir Öle unter thermischer und elektrischer Belastung untersucht und naheliegende Zersetzungsreaktionen überlegt.

2 Autoxidation

Autoxidation bezeichnet die schleichende Oxidation von Fetten durch Luftsauerstoff, wie sie beim Ranzigwerden von Fetten auftritt. Molekularer Sauerstoff bildet ein Hydroperoxidradikal, indem er einer vorzugsweise ungesättigten Fettsäure ein H-Atom entzieht. Das verbleibende Alkylradikal geht mit weiterem Sauerstoff in ein Peroxyradikal über (Abbildung 1). Dieses entzieht wiederum einem Nachbarmolekül ein H-Atom aus einer CH-Gruppe, die vorzugsweise in Nachbarschaft einer C=C-Bindung steht. So entstehen ein Fettsäurehydroperoxid und ein Fettsäureradikal, das erneut mit Sauerstoff reagiert, wo-

durch sich die Kettenreaktion fortsetzt [5]. Aufgrund der C=C-Doppelbindungen, die Radikale durch Mesomerie stabilisieren, neigen ungesättigte Fettsäuren und Triglyceride stärker zur Autoxidation als gesättigte Reste. Besonders anfällig für die Autoxidation sind mehrfach ungesättigte Fettsäuren wie Linol- und Linolensäure (siehe Tabelle 1). Zu den Folgeprodukten der Autoxidation zählen gesättigte und ungesättigte Aldehyde, Carbonsäuren, Hydroxycarbonsäuren und Oxocarbonsäuren.

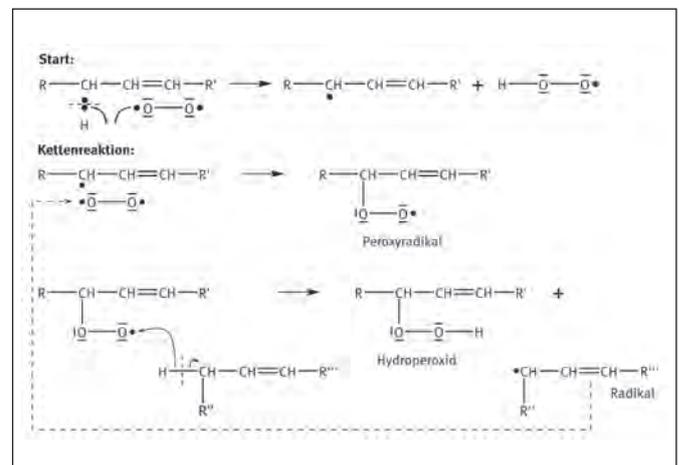


Abbildung 1: Mechanismus der Autoxidation von Fettsäuren [5, S.744f.]

Tabelle 1: Energieaufwand für die Spaltung einer C–H-Bindung [5, S. 744]

Gruppierung, in der die C–H-Bindung gespalten werden soll	Dissoziationsenergie
	aus der Methylgruppe 422 kJ/mol
	aus der Methylengruppe 410 kJ/mol
	in Allylstellung 322 kJ/mol
	Methylengruppe zwischen 2 Doppelbindungen 272 kJ/mol

3 Thermolyse

Zur Autoxidation hinzu kommen thermische Zersetzungsreaktionen, wenn Öle durch Hitze oder elektrische Überschlüge und Überspannungen im technischen Betrieb altern. Bei hohen Temperaturen neigen Triglyceride zur Spaltung (Abbildung 2). Verschiedene Reaktionen folgen nach. Unter Sauerstoffzutritt beginnt die Zersetzung natürlicher Ester bei ca. 190 °C, in Stickstoffatmosphäre bei ca. 300 °C. Folgeprodukte der Esterpyrolyse sind beispielsweise Acrolein, freie Fettsäuren und die extrem reaktiven Ketene. Nach der Aufspaltung der Triglyceride sind weitere Folgereaktionen möglich (Tabelle 2).

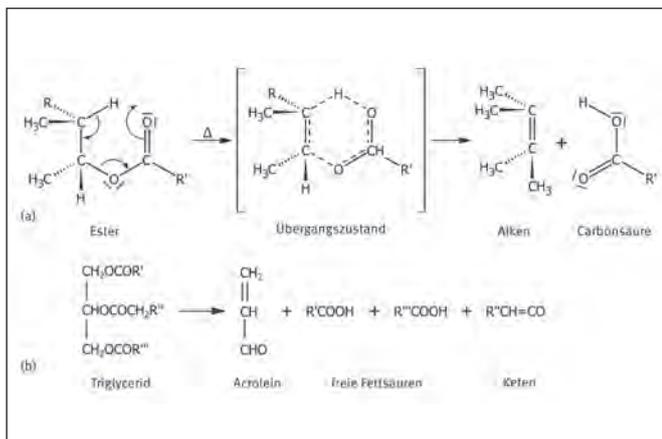


Abbildung 2: (a) Mechanismus der Esterpyrolyse [5] und (b) Zersetzung von Triglyceriden [1]

Tabelle 2: Folgereaktionen der Triglyceridzersetzung [1,2].

<p>Zersetzung der Fettsäuren:</p> $RCOOH \rightarrow CO_2 + RH$ $2RCOOH \rightarrow CO_2 + H_2O + RCOR$ <p>Zersetzung von Aldehyden und Ketonen:</p> $2R'CH=C=O \rightarrow 2CO + RHC=CHR$ $H_2C=CH-CHO \rightarrow CO + C_2H_4$ $RCOCH_2R \rightarrow R-R + CH_2=C=O$ $2RCOCH_2R \rightarrow 2R_2 + CO + C_2H_4$ <p>Spaltung von Alkanen:</p> $C_nH_{2n+2} \rightarrow nC + (n+1)H_2$ <p>Dehydrierung der Paraffine:</p> $C_nH_{2n+2} \rightarrow C_nH_{2n} + H_2$ <p>Isomerisierung der Paraffine:</p> $n-C_nH_{2n+2} \rightarrow i-C_nH_{2n+2}$	<p>Aromatische Zyklisierung von Paraffinen</p> <p>Di- und Polymerisation von Olefinen:</p> $mC_nH_{2n} \rightarrow -(C_nH_{2n})_m-$ <p>Zersetzung von Olefinen zu acetylenischen Kohlenwasserstoffen</p> <p>Aromatisierung oder Cyclisierung von Olefinen</p> <p>Hydrierung von Olefinen:</p> $C_nH_{2n} + H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2}$ <p>Isomerisierung der Olefine:</p> $n-C_nH_{2n} \rightarrow i-C_nH_{2n}$
---	--

4 Thermoanalytische Untersuchungen

Mit der Kopplung von Infrarotspektroskopie und Thermoanalyse (TGA-IR) haben wir die Abläufe während der thermischen Zersetzung eines natürlichen Esteröls verfolgt. Unter Luft- und unter Stickstoffatmosphäre wurde die Probe mit einer Heizrate von 5 K/min auf 600 °C erhitzt und die freigesetzten Gase analysiert (Abbildung 3).

Die thermogravimetrischen Kurven zeigen, dass die Zersetzung bei 250 °C beginnt und in einem dreistufigen Prozess mit auffälligen Oxidationsprodukten abläuft. Im Spektrum ersichtlich sind: Wasser (3710 cm⁻¹), OH-Gruppen (3600–3200; 1100–1000), langkettige und verzweigte Alkylreste (2960–2850, 1480–1370), Aldehyde (2710), CO₂ (2349), Ketene (2150; 1125), C=O von Acrolein (1775) und Methylester (1740; 1165).

Im Stickstoffstrom setzt die Zersetzung erst bei 370 °C ein. Das IR-Spektrum zeigt: Wasser (3710 cm⁻¹), cis-Alkene (3095–3200; 730–675), Alkylreste (2960–2850; 1480–1370), CO₂ (2349), Ketene (2150; 1125), Carbonsäuren (1710; 1370; 1265; 925) und Methylester (1740; 1165). Luftzutritt fördert also signifikant die Aldehydbildung.

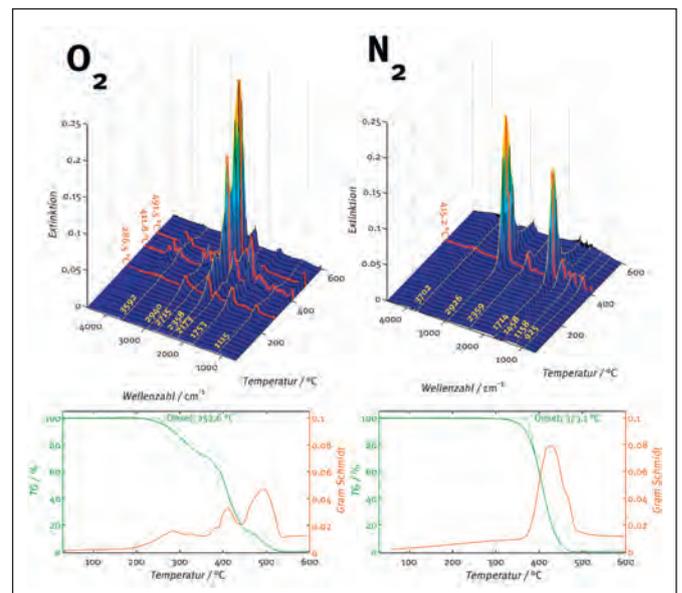


Abbildung 3: TGA-IR-Untersuchung eines Esteröls unter Sauerstoff- und Stickstoffatmosphäre.

5 GC/MS-Analytik

Eine genauere Betrachtung der durch thermische Zersetzung gebildeten Stoffe ermöglicht die Gaschromatografie gekoppelt mit einem Massenspektrometer. Das natürliche Esteröl wurde im Thermodesorber für 60 min auf 350 °C erhitzt. Die freigesetzten Substanzen werden in einer Kühlfalle gesammelt und nach Beendigung der Thermolyse schlagartig erhitzt. Die Zersetzungsprodukte gelangen über eine Transferleitung in den Gaschromatograf, wo die Stoffe getrennt werden (Abbildung 4). Mithilfe des gekoppelten Massenspektrometers werden die einzelnen Stoffe identi-

fiziert. Nachweisbar sind freie Fettsäuren, die bei der Zersetzung der Triclyceride entstehen. Durch Folgereaktionen zerfallen diese Fettsäuren in gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Einen Hinweis auf die Isomerisierung der Olefine geben die kumulierten Diene. Alkine und zyklische Kohlenwasserstoffe bestätigen die Zersetzung von Olefinen zu Acetylenen, die anschließend Ringe bilden.

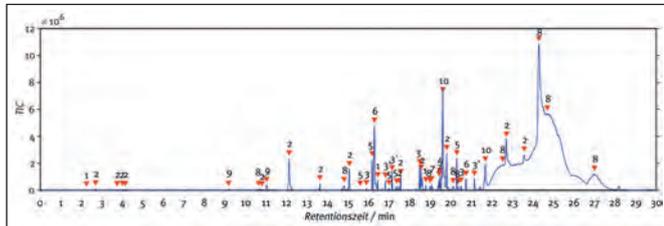


Abbildung 4: Gaschromatogramm eines thermisch zersetzten natürlichen Esteröls: 1 Alkane (0,7 %), 2 Alkene (15,6 %), 3 Diene und C=C=C (1,47 %), 4 Triene (0,24 %), 5 Alkine (1,25 %), 6 Alkohole (2,05 %), 7 Aldehyde (0,51 %), 8 freie Fettsäuren (68,7 %), 9 zyklische Kohlenwasserstoffe (0,37 %), 10 Dodecylmethacrylat (2,86%).

6 Fazit

Einige in der Literatur beschriebene Zersetzungsreaktionen konnten durch TGA-IR- und GC/MS-Messungen bestätigt werden. Die thermische Fettspaltung bildet freie Fettsäuren, aliphatische Kohlenwasserstoffe, Aldehyde wie Acrolein, und Ketene.

Referenzen:

- [1] C.-C. Chang, S.-W. Wan, China's Motor Fuels from Tung Oil, *Industrial & Engineering Chemistry* 39 (1947) 1543–1548.
- [2] K. D. Maher, D. C. Bressler, Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals, *Bioresource Technology* 98 (2007) 2351–2368.
- [3] A. W. Schwab, G. J. Dykstra, E. Selke, S. C. Sorenson, E. H. Pryde, Diesel fuel from thermal decomposition of soybean oil, *Journal of American Oil Chemists' Society* 65 (1988) 1781–1786.
- [4] T.V. Oommen, Vegetable oils for liquid-filled transformers, *IEEE Electrical Insulation Magazine* 18 (2002) 6–11.
- [5] A. Wollrab, *Organische Chemie*, Berlin: Springer, 2009.

Fördergeber:

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen,
für Landesentwicklung und Heimat



Kontakt:



Dipl.-Phys. Christian Schell

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ch.schell@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de

Zusammenfassung

Wir haben einen neuartigen impedimetrischen Sensor auf Basis von Metalloxiden, Graphit und Epoxidharz entwickelt, der sich für pH-Messungen in Flüssigkeiten eignet, unabhängig von der Leitfähigkeit des Mediums. Die Entwicklung ermöglicht ein weites Spektrum an visionären Anwendungen in nicht-wässrigen und unpolaren Lösungen, in denen die konventionelle Glaselektrode an ihre Grenzen stößt.

Abstract

We have developed a novel Impedimetric sensor based on metal oxides, graphite and epoxy resin, which is suitable for pH measurements in liquids, regardless of the conductivity of the medium. This development opens up a wide spectrum of visionary applications in non-aqueous and nonpolar solutions, in which the conventional glass electrode fails.

1 Einleitung

Platinmetalloxide, eine Entwicklung der 1970er-Jahre für die technische Chloralkalielektrolyse, haben vielfältige Anwendungen im Bereich der Katalyse, Energiespeicherung und Sensorik erschlossen. Rutheniumdioxid (RuO_2) [1] ist ein gemischter elektronischer und ionischer Leiter. Das Ruhepotenzial der RuO_2 -Elektrode in wässriger Lösung hängt vom pH-Wert ab, mit vergleichbarer Sensitivität wie die kommerziell eingeführte Glaselektrode [2]. Metalloxiidsensoren versprechen Vorteile bei der Minimierung, Sterilisierbarkeit und preiswerten Einmalverwendung in biologischen, öligen und korrosiven Medien. In nicht-wässrigen unpolaren Lösungen und bei extrem hohen oder niedrigen pH-Werten stößt die Glaselektrode an ihre Grenzen.

Unkonventionelle Ansätze zur pH-Bestimmung setzen ein fundiertes Verständnis der Elektrodenvorgänge und neue Methoden der Datenauswertung in Echtzeit voraus. Diese Arbeit betrachtet die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS), bei der dem Sensor eine Wechselspannung mit variabler Frequenz aufgeprägt und die Phasenverschiebung φ zwischen Spannung und Stromantwort des Systems gemessen wird. Die komplexe Impedanz \underline{Z} setzt sich aus dem frequenzabhängigen Wirk- und Blindwiderstand zusammen.

$$\underline{Z} = \frac{U(\omega t)}{I(\omega t)} = Z(\cos\varphi - j \sin\varphi) = \text{Re}\underline{Z} + j \text{Im}\underline{Z} \quad (1)$$

Für die Auswertung von Sensorsignalen haben wir die verlustbehaftete Kapazität C (Pseudokapazität) eingeführt [3], die keinem bestimmten Ersatzschaltbild folgen muss, allenfalls eine frequenzabhängige $R||C$ -Vermutung zugrunde legt. Der Elektrolytwiderstand R_e kann korrigiert werden. Im Grenzfall hoher Frequenzen ergibt sich die Doppelschichtkapazität.

$$C(\omega) = \frac{\text{Im}\underline{Y}(\omega)}{\omega} = \frac{-\text{Im}\underline{Z}}{\omega|(\text{Re}\underline{Z} - R_e)^2 + (\text{Im}\underline{Z})^2|} \xrightarrow{\omega \rightarrow \infty} \frac{-1}{\omega \text{Im}\underline{Z}} \quad (2)$$

Das Impedanzspektrum einer diffusionsbestimmten Elektrodenreaktionen wird hilfsweise durch ein Ersatzschaltbild modelliert, das die Widerstände und Kapazitäten an der Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt abbildet (Abbildung 1) [4]. Leider passt die Modellvorstellung unzureichend auf die Vielfalt der praktischen Anwendungsfälle.

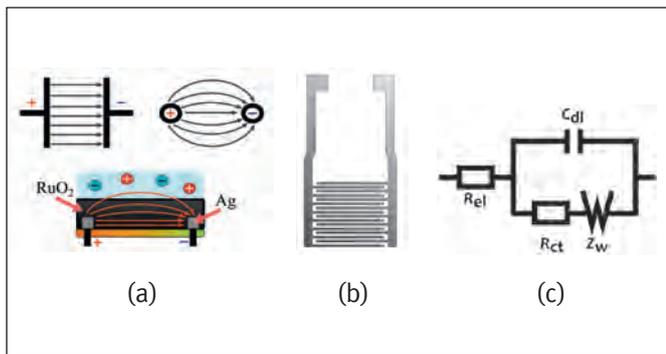


Abbildung 1: (a) Feldlinienverlauf im Plattenkondensator, zwischen Punktladungen und im impedimetrischen Sensor. (b) Interdigitalstruktur. (c) Allgemeines Ersatzschaltbild: R_{el} Elektrolytwiderstand, C_{dl} Doppelschichtkapazität, R_{ct} Durchtrittswiderstand (charge transfer), Z_w Diffusions- und Adsorptionsvorgänge.

2 Interdigitalstrukturen

In technischen Lösungen stört oftmals die geringe Leitfähigkeit, somit der große Elektrolytwiderstand. Abhilfe schaffen Interdigitalstrukturen mit kleinem Elektrodenabstand und großer Elektrodenoberfläche (Abb. 1). Anders als im Plattenkondensator wird die Kapazität der planaren Struktur von vielen Elektrodenkanten bestimmt; die Feldlinien verlaufen inhomogen mit hohen Feldstärken an den Elektrodenarmen. Ein Teil der Feldlinien läuft in der Metalloxidschicht, ein anderer dringt in den Elektrolyten vor.

Die Herstellung der Leiterbahnen erfolgt durch Siebdruck von Silber-Palladium-Paste auf ein gereinigtes Glassubstrat, Trocknen und Einbrennen bei niedriger Aufheizrate. Die pH-sensitive Schicht aus RuO_2 , Leitruß und Epoxidharz (Massenanteile $RuO_2 : C : EP = 17 : 9 : 74 \%$) wird auf die Interdigitalstruktur gedruckt und ausgehärtet. Zum Testmedium hin offene Kontaktbahnen wurden mit Epoxidharz versiegelt. Der Sensor wurde in demineralisiertem Wasser konditioniert. Der trockene Sensor mit $7,5 \text{ cm}^2$ Fläche und $0,15 \text{ mm}$ dicker Beschichtung (25 mg cm^{-2}) wies einen Schichtwiderstand von $37,8 \text{ k}\Omega$ auf.

In pH-Pufferlösungen zeigt der Sensor Ortskurven (Abbildung 2) aus zwei gestauchten, unvollständigen Halbkreisen, was die Unzulänglichkeit der einfachen $R||C$ -Modellvorstellung belegt. Bei hohen und mittleren Frequenzen erscheinen die oberflächennahen Prozesse in der elektrolytischen Doppelschicht und der Ladungsdurchtritt zum Metalloxid. Bei tiefen Frequenzen dominiert der Stofftransport der Ladungsträger zwischen Elektrolyt und Elektrode. Der Durchtrittswiderstand R_{ct} fällt mit steigendem pH-Wert, während die Kapazität $C(10 \text{ Hz})$ mit exzellenter linearer Korrelation zunimmt ($5,0 \cdot 10^{-9} \text{ F/pH}$, Regression $0,999$). Der Impedanzbetrag $|Z(10 \text{ Hz})|$ zeigt die pH-Abhängigkeit weniger direkt ($-6,4 \text{ k}\Omega/\text{pH}$, $R^2 = 0,909$). Der Phasengang bestätigt das kapazitive Verhalten des Sensors in zwei Zeitdomänen, ist für die elektroanalytische Auswertung jedoch von geringerem Nutzen.

3 Funktionalität in realen Lösungen

Der Sensor wurde in Getränken und bei der Säure-Base-Titration getestet [5] und mit Werten der Glaselektrode und einem Leitfähigkeitsmessgerät verglichen. Das Potenzial der Glaselektrode sinkt linear von $+335 \text{ mV}$ auf -275 mV (pH 0 bis 12). Die Leitfähigkeit der Lösung fällt anfänglich zwischen pH 0 und pH 2 von 43 mS/cm ab und bleibt dann bis pH 12 konstant bei 6 mS/cm . Die Ortskurven während der Säure-Base-Titration zeigen gestauchte Halbkreise. Anders als in Pufferlösungen steigt der Widerstand mit steigendem pH-Wert, was die Unzulänglichkeit des von der Elektrolytzusammensetzung stark abhängigen Widerstands für die pH-Messung demonstriert. Der Ladungsdurchtritt läuft in saurer Lösung schneller als in alkalischer. Auch ist das Proton beweglicher; die Ionenleitfähigkeiten ($\lambda = F u$) sind $\lambda(H^+) = 0,03469 \text{ S m}^2\text{mol}^{-1}$ und $\lambda(OH^-) = 0,01992 \text{ S m}^2\text{mol}^{-1}$ in unendlich verdünnter Lösung bei 25°C . Die Kapazitäts-pH-Kurve zeigt mindestens zwei Steigungen: In stark saurer und stark alkalischer Lösung ist von einem Wechsel der Kinetik an der RuO_2 -Elektrode auszugehen.

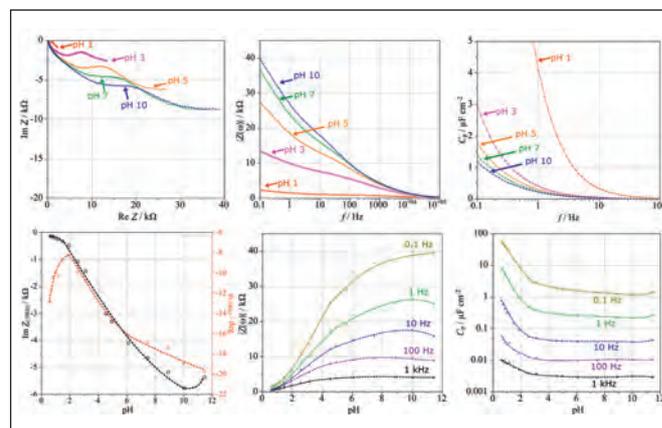


Abbildung 2: Impedimetrischer Sensor während der Titration von $0,1$ -molarer Schwefelsäure mit $0,1$ -molarer Natronlauge bei 25°C . Frequenzbereich 10 MHz bis 10 Hz . Elektrolytwiderstand korrigiert. Amplitude $0,1 \text{ V}$. Oben: Ortskurve, Impedanzbetrag und Frequenzgang der Kapazität. Unten: pH-Abhängigkeit von Blindwiderstand, Phasenwinkel, Impedanzbetrag und Kapazität.

4 Einfluss der Ionenstärke

Um den Einfluss der Leitfähigkeit (Ionenstärke) auf die kapazitive Antwort des Sensors zu testen, wurden verdünnte Schwefelsäure und Natronlauge durch Zugabe des Leitsalzes Natriumsulfat auf eine konstante Leitfähigkeit von 100 mS cm^{-1} eingestellt. Der Verlauf des Impedanzbetrages und der Kapazität bei 1 Hz deckt sich dennoch mit Messungen ohne Leitsalz, insbesondere der Titrationskurve.

In der Definitionsgleichung der Pseudokapazität in Gleichung (2) kann die Elektrolytleitfähigkeit $\kappa (\text{S cm}^{-1})$ korrigiert werden. Durchtritts- und Diffusionswiderstand fließen ein. Im Fall des Plattenkondensators ergibt sich eine Verquickung von Leitfähigkeit und Kapazität $C = Q/U$.

$$\kappa(\omega) = \frac{1}{R(\omega)} \cdot \frac{d}{A} = C(\omega) \frac{\omega d}{2\pi A} \quad (3)$$

Alle Ionen in der Lösung tragen unspezifisch nach dem Grad der Ionenbeweglichkeit u_i zum Leitwert $1/R$ des Elektrolyten bei. Das Proton bewegt sich am schnellsten und bestimmt mit seiner Konzentration $c(\text{H}^+)$ maßgeblich die gemessene Leitfähigkeit κ bzw. die mittlere molare Leitfähigkeit $\Lambda = \kappa/c$ der Lösung. Geht man von einem weitgehend konstanten Anteil der übrigen Ionen zur Leitfähigkeit aus, bildet die Kapazität die Protonenkonzentration an der Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt zurzeit $t = Q/I = 2\pi/\omega$ qualitativ ab.

$$C(\omega) = c(\text{H}^+) \cdot \frac{\Lambda}{\omega} \frac{2\pi A}{d} \quad (4)$$

Die lineare Korrelation von Leitfähigkeit und Kapazität mit der Protonenkonzentration haben wir in stark saurer Lösung (pH 0,6 bis 3) experimentell beobachtet. Der Quotient aus Leitfähigkeit und flächenbezogener Kapazität ist formal eine Geschwindigkeit $[\kappa/C] = \text{S m}^{-1}/(\text{F m}^{-2}) = \text{m s}^{-1}$.

Die physikalische Bedeutung im Hinblick auf das Elektrodenmaterial ist spekulativ. Die Steigungen betragen $\Delta(\kappa/C)/\Delta \log f \approx 49,3 \text{ m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$ ($R^2 = 0,999$) und im Frequenzbereich 0,1 bis 10 Hz. Der Quotient der Säurekonzentration zur flächenbezogenen Kapazität ändert sich durch das Leitsalz weniger stark von $\Delta(c/C)/\Delta \log f \approx 35,2 \text{ mol cm}^{-1} \text{F}^{-1} \text{dec}^{-1}$ auf $18 \text{ mol cm}^{-1} \text{F}^{-1} \text{dec}^{-1}$.

5 Temperaturabhängigkeit

Der pH einer Lösung gegebenen Masse ist unabhängig von der Temperatur, aber die Messgrößen Ruhepotenzial und Leitfähigkeit sind temperaturabhängig. Glas- und Leitfähigkeitselektroden bemühen daher eine Temperaturkompensation [6,7]. Auch Dissoziationskonstanten und Dissoziationsgrade variieren mit der Temperatur. Mit steigender Temperatur fällt der Durchtrittswiderstand und die Kapazität steigt, weil die Elektrodenprozesse schneller ablaufen. Entsprechend werden die Ortskurven in der Wärme enger. Die Doppelschichtkapazität bei 1 MHz steigt linear: $\Delta C/\Delta T = 80,3 \text{ pF cm}^{-2} \text{K}^{-1}$ ($R^2 = 1$). Die Theorie der Doppelschicht kennt die Ausdehnung der diffusen Doppelschicht mit steigender Temperatur: $\kappa_d \sim \sqrt{T/\eta_0}$, mit κ_d DEBYE-Länge, η_0 konstante Teilchenzahldichte im Lösungsinnen. Im Frequenzbereich der Durchtrittsreaktion bei 1 Hz beträgt die Sensitivität des Impedanzbetrags $d|Z|/d\text{pH} = 2,86 \text{ k}\Omega \text{pH}^{-1}$ (25 °C; $R^2 = 0,862$), $1,85 \text{ k}\Omega \text{pH}^{-1}$ (40 °C; $R^2 = 0,862$) und $1,09 \text{ k}\Omega \text{pH}^{-1}$ (60 °C; $R^2 = 0,862$).

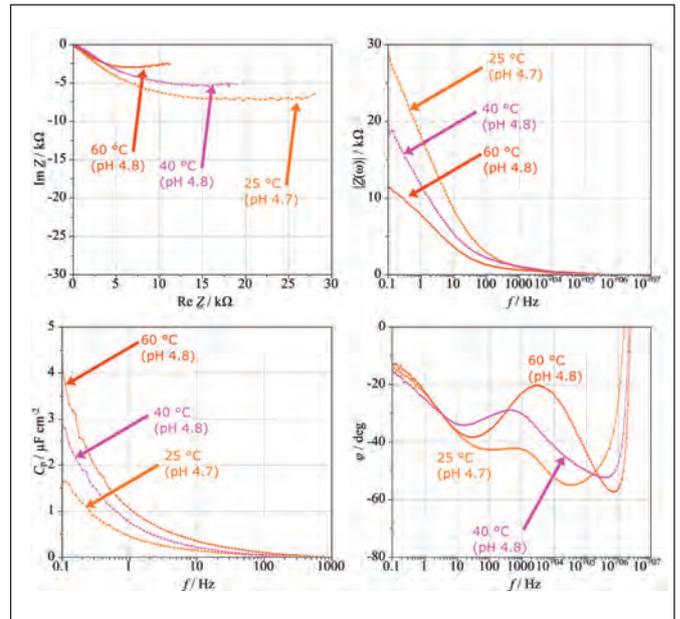


Abbildung 3: Impedimetrischer Sensor in einer Lösung (pH 4.8 und; 100 mS cm^{-1}): Ortskurven der Impedanz, Frequenzgang von Kapazität, Impedanzbetrag und Phasenwinkel. Elektrolytwiderstand korrigiert. Frequenzbereich 10 MHz bis 10 Hz Amplitude 0,1 V.

6 Modellierung des Sensors

Die Ortskurven wurden auf das Ersatzschaltbild in Abbildung 1 angepasst, wobei die Diffusionsimpedanz W durch eine Parallelschaltung aus verlustbehafteter Kapazität C_a (CPE) und Widerstand R_a modelliert wird. Die Temperaturabhängigkeit der Kapazität bei hoher Frequenz korreliert gegenüber der leistungsstärkeren empirischen Auswertung nach Gleichung 2 nur schwach:

$\Delta C_{dl}/\Delta T = -44 \text{ pF cm}^{-2} \text{K}^{-1}$ ($R^2 = 0,795$). Der WARBURG-Parameter $\alpha = 1$ spricht für eine geometrische Doppelschichtkapazität ohne Diffusionsanteil. Der Durchtrittswiderstand steigt linear mit $\Delta R_{ct}/\Delta T = 5,6 \text{ }\Omega \text{K}^{-1}$ ($R^2 = 0,942$), entsprechend der schnelleren Reaktionskinetik. Der Schichtwiderstand ($37,8 \text{ k}\Omega$) liegt in derselben Größenordnung. Demnach findet die Indikatorreaktion, wie das $R_a || C_{dl}$ -Glied vermuten lässt, in der flüssigkeitsgefüllten Aktivschicht zwischen den Elektrodenkämmen statt. $\alpha \approx 0,5$ deutet auf eine diffusionsbestimmte Kinetik.

Eine pH-Abhängigkeit bei 25 °C zeigt der Durchtrittswiderstand $\Delta R_{ct}/\Delta \text{pH} = 71,4 \text{ }\Omega \text{pH}^{-1}$ ($R^2 = 0,958$), während sich der Sorptionswiderstand R_a mit unklarem Trend im Bereich von $11,5 \text{ k}\Omega$ bis $58,8 \text{ k}\Omega$ bewegt. Die pH-Abhängigkeit steckt somit, wie vermutet, in der Durchtrittsreaktion (faradaische Redoxreaktion $\text{Ru}^{\text{III}}/\text{Ru}^{\text{IV}}$) und ist kein Diffusionsphänomen. Die elektrolytische Doppelschicht C_{dl} erreicht bei pH 7 ein Minimum, was sich mit dem Nullladungspotenzial erklären lässt. Am Nullladungspotenzial klappen die Wasserdipole von der Bindung mit O- bzw. H-Atomen um.

Tabelle 1: Modellparameter des pH-Interdigitalensensors (a) in einer Testlösung (pH 4,8, 100 mS cm⁻¹) bei unterschiedlichen Temperaturen und (b) in Lösungen unterschiedlicher pH-Werte bei 25 °C. α : WARBURG-Parameter.

	Elektrolyt		Hochfrequenter Bogen				Niederfrequenter Bogen			
	pH	T/°C	R _{el} /Ω	R _{ct} /Ω	C _{dl} /nF cm ⁻²	α	R _s /kΩ	C _i /μF cm ⁻²	α	
(a)	4,8	25	13,0	102,8	2,73	1	36,5	1,75	0,49	
	4,8	40	12,3	142,6	1,36	1	38,6	4,38	0,40	
	4,8	60	10,1	294,5	1,12	1	14,1	3,90	0,52	
	∂x/∂T		-0,084	5,60	-0,044		-0,67	0,0568		
	R ²		0,967	0,942	0,795		0,757	0,506		
(b)	1,6	25	13,3	0,50	5,6	1	28,1	70,31	0,26	
	2,7	25	12,3	37,6	3,38	1	11,5	5,17	0,36	
	3,5	25	12,4	85,7	2,82	1	57,8	1,67	0,51	
	4,7	25	13,0	102,8	2,73	1	36,5	1,75	0,49	
	9,3	25	12,3	535,6	25,9	0,85	45,3	9,87	0,61	
	∂x/∂pH		-0,072	71,4	2,97		2520	-5,51		
	R ²		0,227	0,958	0,781		0,185	0,293		

7 Zusammensetzung der Aktivschicht

Unsere Messungen an der Metalloxid-Interdigitalstruktur zeigen eine pH-Abhängigkeit des Ruhepotenzials und der frequenzabhängigen Impedanz (Tabelle 1). Die Frage ist, welcher Anteil der Sensitivität dem als Leitgrafit im Aktivmaterial zukommt. Die Sensitivität des Ruhepotenzials ist in RuO₂-reicher Schicht mit -42 mV/pH am günstigsten. Für Ruhepotenzialmessungen, die auf dem Redoxgleichgewicht Ru^{III}/Ru^{IV} beruhen, ist ein geringer Grafitgehalt anzustreben. Kontinuierliche Wassereinlagerung in die Epoxidharzschicht lässt die Sensitivität im Lauf der Zeit jedoch auf die Hälfte sinken (Tabelle 2).

Der Impedanzbetrag |Z| bei 1 Hz steigt mit zunehmendem RuO₂:C-Verhältnis, was der schlechteren Leitfähigkeit bei geringerem Grafitanteil entspricht. Bei einem Verhältnis von RuO₂:C = 1,9 weist die Impedanzbetrag-pH-Kurve einen Knick bei pH 4 auf. Ein geringerer Anteil an RuO₂ führt zu besserer Regression.

Die pH-Abhängigkeit in der Kapazität C bei 1 Hz reagiert günstig auf einen hohen Grafit-Anteil. Ein grafitreich-kapazitiver Sensor bietet eine vergrößerte Oberfläche, einen verbesserten Partikelkontakt und leitet zudem gut elektronisch. Die Leitfähigkeit und Protonenkonzentration scheinen bei einem hohen RuO₂-Anteil linear zur komplexen Kapazität zu verlaufen.

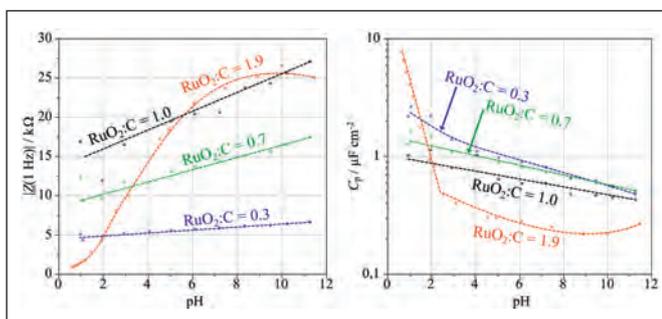


Abbildung 4: Einfluss des Grafitanteils in der RuO₂-Aktivschicht: Impedanzmessungen (1 Hz) während Säure-Base-Titration des impedimetrischen Sensors.

Tabelle 2: Sensitivität von pH-Aktivschichten unterschiedlicher Zusammensetzung (25 °C, pH 1 bis 11)

Verhältnis RuO ₂ :C	Ruhepotential in pH-Pufferlösung		Impedanz (1 Hz) bei Säure-Base-Titration	
	frischer Sensor dE/dpH (mV/pH)	20 Tage in Wasser dE/dpH (mV/pH)	dZ/dpH (kΩ/pH)	dC/dpH (nF cm ⁻² pH ⁻¹)
0,3 (1:3)	-17	-9	0,18 (R ² = 0,931)	-145,4 (R ² = 0,813)
0,7 (1:1,4)	-21	-9	0,66 (R ² = 0,900)	-93,4 (R ² = 0,907)
1,0 (1:1)	-23	-11	1,33 (R ² = 0,816)	-63,5 (R ² = 0,813)
1,9 (2:1,05)	-42	-23	2,73 (R ² = 0,916)	abschnittsweise linear

8 Sensitivität in organischen Lösemitteln

Metalloxidsensoren versprechen Vorteile gegenüber der Glaselektrode bei der pH-Messung in nicht-wässrigen Lösungen. Der kapazitive Sensor sollte unabhängig von der Leitfähigkeit der Lösung arbeiten. Über Molekularsieb getrocknetes Aceton, Ethanol und Ethylacetat sowie Reinstwasser leiten so schlecht, dass die klassische Leitfähigkeitsmessung der wässrigen Lösungen versagt. Die Impedanzmessung erbringt hingegen auswertbare Signale (Abbildung 5). Aceton und Ethanol zeigen Ortskurven mit zwei unvollständigen Halbkreisen. Bei Ethylacetat dominiert der Elektrolytwiderstand.

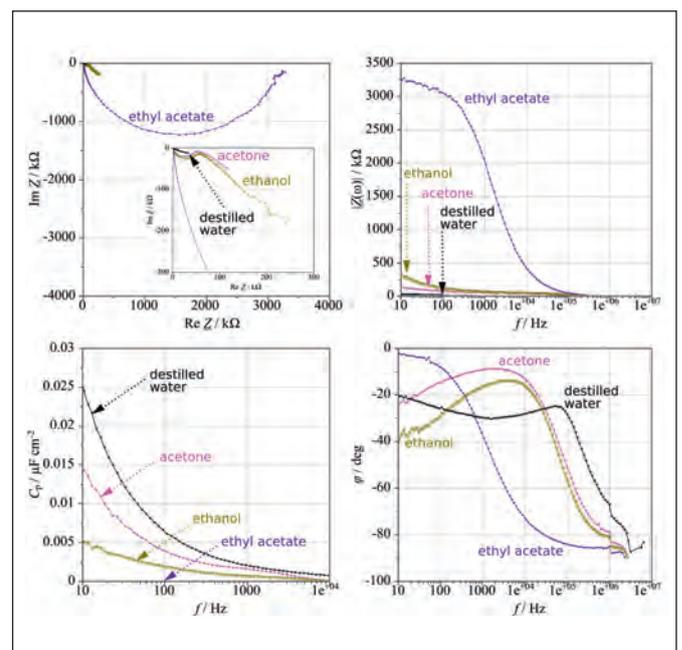


Abbildung 5: Impedanzmessungen am RuO₂-Grafit-Epoxidharz-Sensor in organischen Lösemitteln bei 25 °C.

9 Folgerungen

Der impedimetrische pH-Sensor zeigt eine Ortskurve mit Durchtritts- und Diffusionsbogen. Hohe Frequenzen erfassen den Ladungsdurchtritt durch die elektrolytische Doppelschicht, während bei niedrigen Frequenzen der Stofftransport in den porösen Elektroden beobachtet wird. Bei Säure-Base-Titrationen steigt der Durchtrittswiderstand mit dem pH-Wert, d. h. die Redoxreaktion ist bei steigendem pH zunehmend gehemmt. Günstig ist ein Materialverhältnis

von $\text{RuO}_2:\text{C} = 1,9$ für den resistiven Sensor, der kapazitive Sensor erfordert hingegen einen hohen Grafitanteil. Ein eindeutiges Ersatzschaltbild existiert nicht, so dass der empirischen Auswertung der Vorzug gegeben wird.

Referenzen:

- [1] S. Chalupczok, P. Kurzweil, H. Hartmann, C. Schell, The Redox Chemistry of Ruthenium Dioxide: A Cyclic Voltammetry Study – Review and Revision, *Int. J. Electrochem.* (2018), 15 pages, doi:10.1155/2018/1273768.
- [2] S. Chalupczok, P. Kurzweil, J. Schottenbauer, Ch. Schell, pH sensitivity of screen-printed sensors based on amorphous and crystalline RuO_2 and the Impact of conducting and inert binders, *Int. J. Science and Research* (2018) 419–427.
- [3] P. Kurzweil, J. Ober, and D. W. Wabner, Method for extracting kinetic parameters from measured impedance spectra, *Electrochimica Acta* 34 (1989) 1179–1185.
- [4] C. H. Hamann, W. Vielstich, *Elektrochemie*, 4. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim 2005.
- [5] S. Chalupczok, P. Kurzweil, J. Schottenbauer, Ch. Schell, pH measurement with platinum metal oxides, Tagungsband 3. OTH-Clusterkonferenz (2018) 153–158, ISBN: 978-3-9818409-4-2.
- [6] P. Kurzweil, Metal oxides and ion-exchanging surfaces as pH sensors in liquids: state-of-the-art and outlook, *Sensors* 9 (2009) 4955–4985.
- [7] H. Wagner, Einfluss der Temperatur auf die elektrische Leitfähigkeit verdünnter, wässriger Lösungen, *VGB PowerTech* 3 (2012) 82–89.

Kontakt:



Sebastian Chalupczok, M.Eng.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

s.chalupczok@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de



Josef Schottenbauer, M.Eng.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie und Umweltanalytik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

jo.schottenbauer@oth-aw.de

High Speed Magnetfeld-Kamera und Messungen an einem Leistungsschalter

Christian Reil, M.Eng.
Matthias Meier, B.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Zusammenfassung

Es wird ein hochkonfigurierbares Abbildungssystem für Magnetfelder vorgestellt, insbesondere zur Erfassung transienter Stromdichteverteilungen in rauen elektromagnetischen Umgebungen. So ermöglicht dieses Messsystem beispielsweise die Verfolgung transienter Strompfade in geschlossenen Gehäusen und Anordnungen, wie sie in Schaltgeräten vorkommen. Diese Magnetfeldkamera besteht aus einer zweidimensionalen Anordnung von 288 hochintegrierten Hall-Effekt-Sensor ICs (integrated circuits) und einem FPGA (Field Programmable Gate Array) zur Ansteuerung der Sensoren. Aufgezeichnet werden können die Bx, By und Bz Komponente der magnetischen Flussdichte, wodurch Richtung und Größe der B-Feldverteilungen erfasst werden können. Das Magnetfeld kann mit einer Bildrate von mehr als 100 000 Bildern pro Sekunde visualisiert werden. Erste Aufzeichnungen des Magnetfelds während Ausschaltvorgängen an einem Leistungsschalter konnten erstellt werden.

Abstract

A highly configurable imaging system for magnetic fields is presented, especially for the detection of transient current density distributions in harsh electromagnetic environments. For example, this measuring system enables the tracking of transient current paths in closed housings and arrangements as found in switchgear. This magnetic field camera consists of a two-dimensional array of 288 highly integrated Hall effect sensor ICs (integrated circuits) and an FPGA (field programmable gate array) for controlling the sensors. The Bx, By and Bz components of the magnetic flux density can be recorded, allowing the direction and magnitude of the B field distributions to be recorded. The magnetic field can be visualized with a frame rate of more than 100 000 frames per second. First recordings of the magnetic field during switch-off processes at a circuit breaker could be made.

1 Einleitung

Die Erkennung von durch Ströme verursachten Magnetfeldern wird unter anderem im Bereich der Diagnose und Inspektion eingesetzt. Die Stromdichteverteilung kann aus dem aufgezeichneten Magnetfeld rekonstruiert werden [1]. Ein Beispiel für die Magnetfeldanalyse ist die zerstörungsfreie Materialprüfung. Hierfür werden Wechselfelder von induzierten Wirbelströmen aufgezeichnet [2] [3]. Inhomogenitäten im Feld können mit Rissen im Material in Verbindung gebracht werden. Mit speziellen Algorithmen können sogar Aussagen über Form, Ausrichtung und Größe der Risse getroffen werden [4].

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Diagnose von Schaltgeräten. Bei der Optimierung von Schaltgeräten steht das Verhalten des Lichtbogens im Vordergrund. Viele Eigenschaften des Schaltgerätes werden durch das Verhalten des Lichtbogens bestimmt. Eine optische Erfassung des Lichtbogens erfordert in der Regel eine Modifikation der Geräte [5]. Diese Modifikationen können wiederum das Verhalten des Lichtbogens beeinflussen. Eine Aufzeichnung des Magnetfeldes außerhalb der Schaltkammer ist stattdessen ohne Modifikationen möglich, wodurch eine Beeinflussung des Lichtbogenlaufverhaltens ausgeschlossen ist. Informationen über das Lichtbogenverhalten können aus dem aufgezeichneten Magnetfeld durch Rekonstruktionen gewonnen werden [6] [7] [8].

2 Magnetfeldkamera

Auf dem Markt verfügbare Magnetfeld-Bildgebungssysteme [9] [10], besitzen eine zu geringe zeitliche Auflösung für die Aufzeichnung des transienten Magnetfelds von Schaltlichtbögen. Daher wurde eine Magnetfeldkamera entwickelt, welche den Anforderungen dieser Anwendung entspricht. Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild des Kamerasystems. Es besteht im Wesentlichen aus einer Sensorplatte und einer FPGA-basierten Steuereinheit. Die Sensorplatte besteht aus einer rechteckigen Anordnung von insgesamt 288 hochintegrierten Hall-Sensor ICs von Fraunhofer [11]. Die Sensor ICs sind dabei in einem 12 x 24 Raster so dicht wie möglich angeordnet und decken dabei eine Fläche von 42 mm x 60 mm ab. Dies ermöglicht eine örtliche Auflösung von 3,5 mm x 2,5 mm. Die Amplitudenauflösung und die Abtastrate der Sensor ICs sind in Hinblick auf die Anwendung konfigurierbar, jedoch stellt jede Konfiguration immer einen Kompromiss zwischen Amplitudenauflösung und Abtastrate dar. Die hier gezeigten Aufzeichnungen wurden mit zwei verschiedenen Konfigurationen durchgeführt. Eine Konfiguration ermöglicht eine gleichzeitige Messung von B_x , B_y und B_z mit einer Bildrate von 25 000 fps (Frames pro Sekunde). Dies ermöglicht bei einem Messbereich von ± 50 mT eine Amplitudenauflösung von 270 μ T. Die andere Konfiguration ermöglicht, indem nur die B_z Komponente gemessen wird, eine Bildrate von 80 000 fps bei einem Messbereich von ± 50 mT sowie einer Auflösung von 160 μ T. Weitere Konfigurationen sind realisierbar.

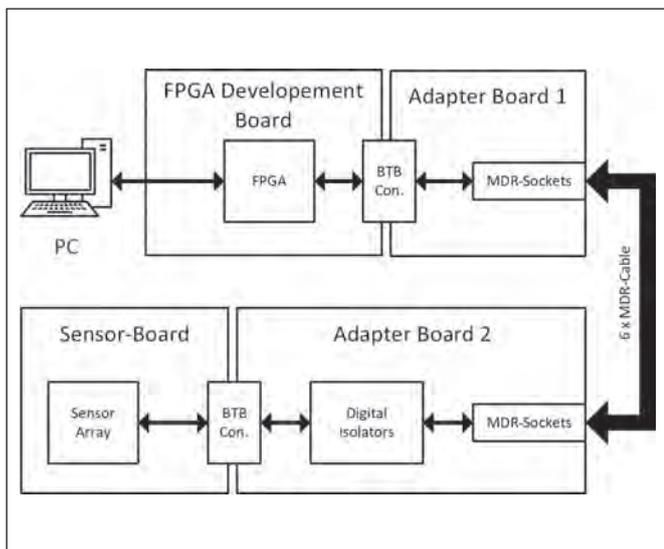


Abbildung 1: Blockschaltbild des Kamerasystems

3 Verifikation des Kamerasystems durch Vergleich mit Simulation

Zur Überprüfung der Funktionalität der Magnetfeldkamera wurde ein Vergleich durchgeführt. Dazu wurde ein Leistungsschalter bei geschlossenem Kontaktsystem mit Strom beaufschlagt und das entstehende Magnetfeld

mit der Magnetfeldkamera, welche an der Gehäusewand des Schalters positioniert war, gemessen. Abbildung 2 zeigt das Schaltgerät und die Positionierung der Kamera. Da die Schaltergeometrie und somit der Strompfad im Schaltgerät bekannt ist, konnte die resultierende Feldverteilung durch eine FEM (Finite Elemente Methode) Simulation berechnet werden.

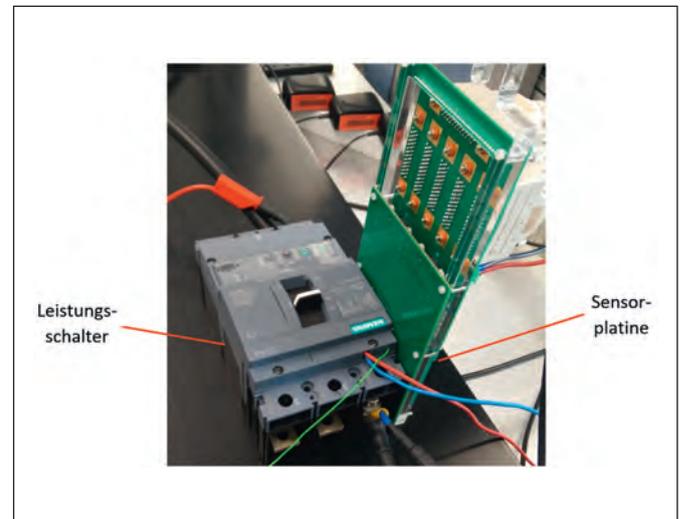


Abbildung 2: Positionierung der Sensorplatte am Schaltgerät

Abbildung 3 stellt die räumliche Verteilung der magnetischen Flussdichte in der Messebene für die drei Komponenten B_x , B_y , und B_z der Simulation und Messung gegenüber, wobei der Strom durch das Schaltgerät 2,2 kA betrug. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse, wodurch die Funktion der Magnetfeldkamera bestätigt wird. Jedoch gibt es einige wenige defekte Sensoren auf der Sensorplatte.

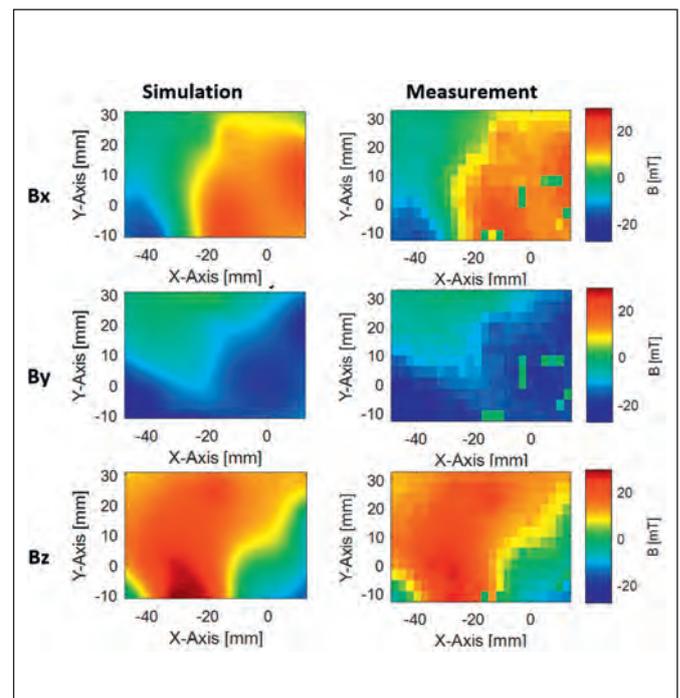


Abbildung 3: Vergleich der simulierten und der gemessenen Feldverteilung

4 Messung von Ausschaltvorgängen

4.1 Versuchsaufbau

Zur Simulation von Ausschaltvorgängen wurde ein Versuchsaufbau errichtet, welcher in Abbildung 4 zu sehen ist. Hierbei wird das Schaltgerät mit einem halbsinusförmigen Strom mit bis zu 3 kA Amplitude und einer Dauer von ca. 10 ms beaufschlagt. Dabei entsteht durch Öffnung des Schaltkontakts ein Lichtbogen im Inneren der Schaltkammer. Das dadurch resultierende Magnetfeld wird durch die Magnetfeldkamera erfasst, welche wie in Abbildung 2 gezeigt an der Gehäusewand des Leistungsschalters platziert ist.

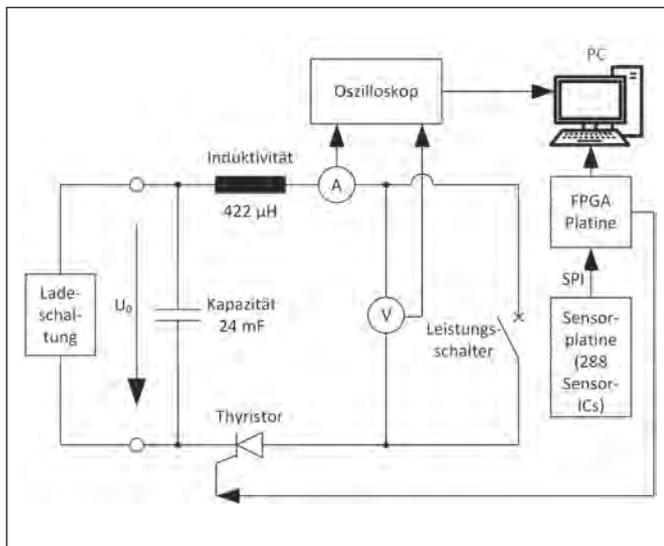


Abbildung 4: Versuchsaufbau zur Simulation von Ausschaltvorgängen

4.2 Aufnahme in einer Achse

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis einer Aufnahme mit der 80 000 Bilder pro Sekunde Konfiguration, bei welcher nur die Messung der B_z Komponente erfolgt. Der obere Teil zeigt den Strom durch und die Spannung über den Kontakten. Der untere Teil von Abbildung 5 zeigt die Feldverteilung der räumlich aufgelösten B_z -Komponente der Flussdichte zu aufeinanderfolgenden Abtastungen, welche jeweils $12,5 \mu\text{s}$ auseinanderliegen. Während der dargestellten 6 Abtastungen zeigt sich eine lokal begrenzte Polaritätsumkehr, welche auf die Änderung des Strompfades und somit der Position des Lichtbogens schließen lässt.

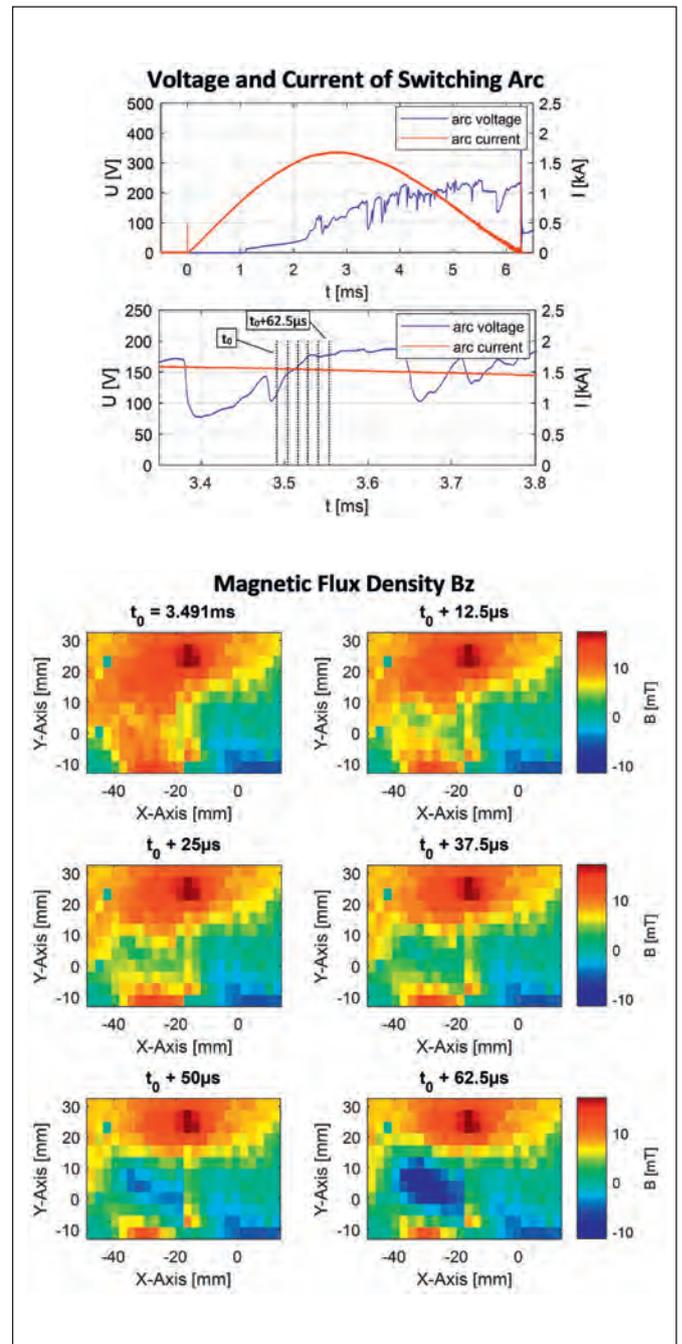


Abbildung 5: Ergebnisse der ersten Messung mit 80 000 fps. Oben: Strom- und Spannungsverlauf. Unten: Örtlich aufgelöste z-Komponente der magnetischen Flussdichte zu aufeinanderfolgenden Abtastungen.

4.3 Aufnahme in drei Achsen

Abbildung 6 zeigt das Ergebnis einer Aufnahme mit der 25 000 Bilder pro Sekunde Konfiguration, bei welcher die drei Komponenten B_x , B_y und B_z der Flussdichte erfasst werden. Der obere Teil zeigt wiederum den Strom durch und die Spannung über den Kontakten. Im unteren Teil sind zwei aufeinanderfolgende Abtastungen, welche zeitlich $40 \mu\text{s}$ auseinanderliegen, zu sehen. Dargestellt sind jeweils die drei Komponenten der magnetischen Flussdichte, als auch der resultierende Betrag davon. Auch hier zeigen sich merkliche Änderungen in den Feldverteilungen, welche sich zwischen den Achsen unterschiedlich stark ausprägen.

5 Ergebnis und Ausblick

Mit der Magnetfeldkamera konnten erste Magnetfelddarstellungen an einem Leistungsschalter erstellt werden. Mit dem durchgeführten Vergleich von Messung und Simulation konnte die prinzipielle Funktionsfähigkeit der Magnetfeldkamera verifiziert werden. Durch Messungen von Ausschaltvorgängen konnten die Verteilungen der magnetischen Flussdichte sowie deren Änderungen aufgezeichnet werden, wodurch Rückschlüsse auf die Position des Lichtbogens getroffen werden können.

An einem speziell gefertigten Modellschalter soll im nächsten Schritt eine gleichzeitige Messung von Magnetfeld- und optischer Hochgeschwindigkeitskamera erfolgen. Durch die Auswertung und den Vergleich der Aufnahmen soll die Aussagekraft der Magnetfeldmessung in Hinblick auf die Rekonstruktion der Lichtbogenbewegung geprüft werden.

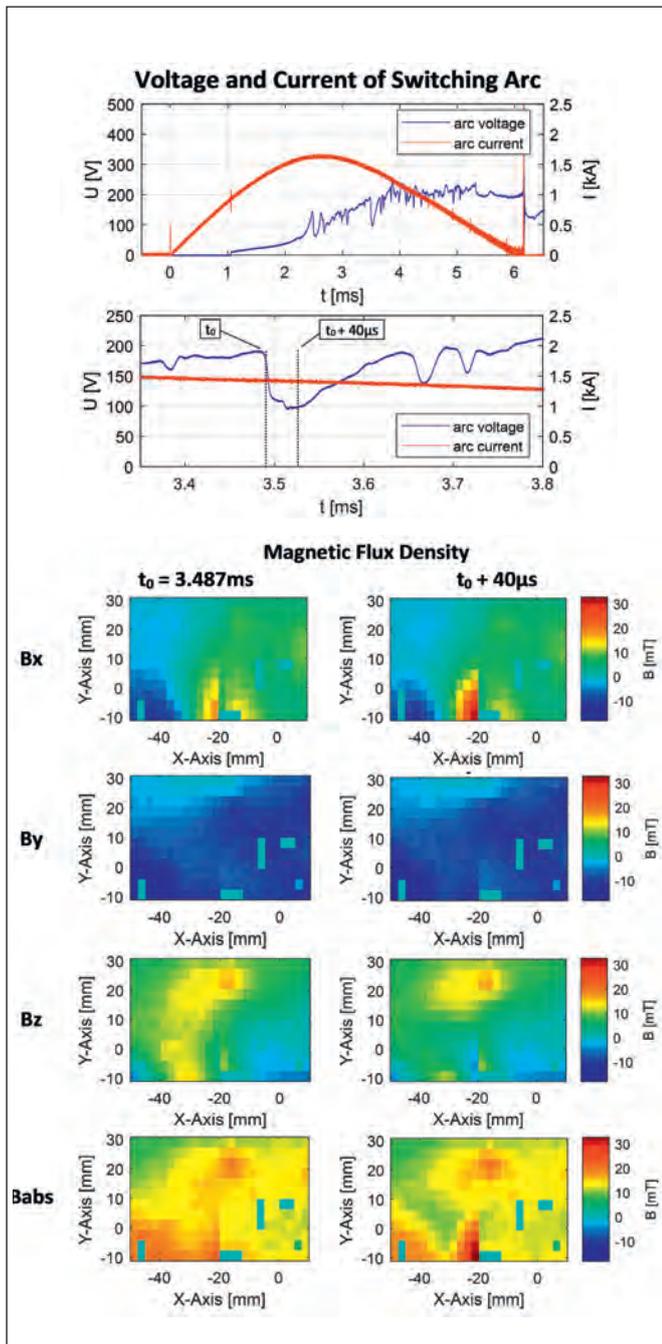


Abbildung 6: Ergebnisse der zweiten Messung mit 25 000 fps. Oben: Strom- und Spannungsverlauf. Unten: Örtlich aufgelöste x-, y- und z-Komponente der magnetischen Flussdichte und deren Betrag zu zwei aufeinanderfolgenden Abtastungen.

Referenzen:

- [1] K. Rainer, L. Kuehn, R. Potthast, "Reconstruction of a current distribution from its magnetic field", *Inverse Problems* 18, pp. 1127–1146, 2002.
- [2] J. Jun, P. Youngmin, J. Lee, "Real time visualization of alternating magnetic fields using 2-dimensional integrated hall sensor array", *Journal of ELECTRICAL ENGINEERING*, Vol 61, No 7, 2010, pp. 32–35.
- [3] J. Hwang, J. Lee, S. Kwon, "The application of a differential-type Hall sensors array to the nondestructive testing of express train wheels", *NDT & E International*. 42. pp. 34–41, 2009.
- [4] M. Le, J. Lee, J. Jun, J. Kim, S. Moh, K. Shin, "Hall sensor array based validation of estimation of crack size in metals using magnetic dipole models", *NDT & E International*. 53, 2013, pp. 18–25.

- [5] D. Shin, I. O. Golosnoy, T. G. Bull, J. W. McBride, "Experimental study on the influence of vent aperture size and distribution on arc motion and interruption in low-voltage switching devices", 2017 4th International Conference on Electric Power Equipment – Switching Technology (ICEPE-ST), pp. 213–217, 2017.
- [6] E. Debellut, D. Cajal, F. Gary, A. Laurent, "Study of re-strike phenomena in a low-voltage breaking device by means of the magnetic camera", J. Phys. D: Appl. Phys. 34, pp. 1665–1674, 2001.
- [7] F. Reichert, F. Berger, C. Rümpler, H. Stammberger, P. Terhoeven, "Experimental studies of the arc behaviour in low voltage arc rail arrangements supporting numerical simulations", IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 34–39, 2006.
- [8] J. Dong, G. Zhang, Y. Geng, J. Wang, "Current Distribution Reconstruction in Low-Voltage Circuit Breakers Based on Magnetic Inverse Problem Solution Considering Ferromagnetic Splitters", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 54, no. 10, pp. 1–9, October 2018.
- [9] Magcam, "Magcam MiniCube3D", <https://www.magcam.com/product/Minicube3D>. [Zugriff: 06-Sep-2019].
- [10] Matesy GmbH, "cmos-magview – the Magnetic Field Camera", <https://matesy.de/en/products/magnetic-field-visualization/cmos-magview-magnetic-field-camera,-viewer-and-measurement-device>. [Zugriff: 06-Sep-2019].
- [11] J. Bretschneider, A. Wilde, P. Schneider, H. Hohe, U. Koehler, "Design of multi-dimensional magnetic position sensor systems based on HallinOne®technology", 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari, 2010, pp. 422–427.

Fördergeber:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



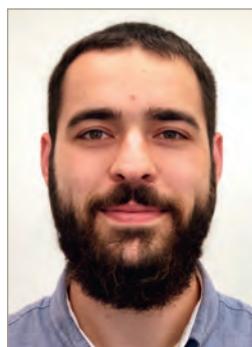
Kontakt:



Christian Reil, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ch.reil@oth-aw.de



Matthias Meier, B.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ma.meier@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

hp.schmidt@oth-aw.de

Larissa Blümlein, M.Sc.^{1,2}
Johannes Turnwald, B.Sc.¹
Prof. Dr. Oliver Kölbl²
Prof. Dr. Barbara Dobler²
Prof. Dr. Ralf Ringle¹

1) Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Weiden
2) Klinik für Strahlentherapie, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg

Entwicklung eines Dosimetrie-phantoms zur Bestimmung der Streustrahlendosis bei Patienten mit kardiovaskulären implantierbaren medizinischen Geräten (CIEDs)

Zusammenfassung

Das primäre Ziel des Projektvorhabens ist die Bestrahlungsplanung zur Reduktion der Streustrahlendosis am Implantat bei Patienten mit kardiovaskulären implantierbaren Medizinprodukten. Dies soll für verschiedene Tumorlokalisationen realisiert werden. Zudem soll mit geeigneten Dosimetriekonzepten die Dosis direkt und so exakt wie möglich am Implantat bestimmt werden. Im Rahmen des Projektes wurde ein geeignetes gewebeäquivalentes Dosimetriephantom entwickelt, in das das benötigte Messequipment und Implantate eingebracht werden können. Im Anschluss kann somit ein Vergleich zwischen der kalkulierten Dosis und der tatsächlich gemessenen Dosis durchgeführt werden. Fehlfunktionen und Reimplantationen bei meist bereits sehr geschwächten Patienten sollen damit vermieden und eine genauere Einteilung in die Risikogruppen gewährleistet werden.

Abstract

The initial goal is the treatment planning for the reduction of the scattered radiation dose in the implant for various tumor localizations. In addition, the dose should be determined directly on the implant using suitable dosimetry concepts. As part of the project, a suitable tissue-equivalent phantom was first developed, in which the required measuring equipment and implants can be inserted. Following this, a comparison between the calculated dose and the actually measured dose can be carried out. Malfunctions and reimplantation in patients who are already very weak should be avoided and a more accurate classification into the risk groups ensured.

1 Einleitung

Die Zahl der Menschen in Deutschland, die auf aktive medizinische Implantate wie Herzschrittmacher oder Kardioverter-Defibrillatoren (ICD) angewiesen sind, steigt nicht zuletzt als Folge der verbesserten diagnostischen Möglichkeiten stetig an. Allein im Jahre 2013 wurden 75.500 Herzschrittmacher und 30.000 ICDs implantiert [1, 2]. Zudem wächst unabhängig davon die Patientengruppe mit Krebsneuerkrankungen. Im Zuge der diagnostischen und therapeutischen Verfahren wird ionisierende Strahlung appliziert. Diese birgt die Gefahr einer möglichen Störung der Implantate und somit ein hohes Sicherheitsrisiko für den Patienten. Aufgrund der bedeutenden Thematik erschien von der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO) und der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK)

die Richtlinie "Guideline for radiotherapy in patients with cardiac implantable electronic devices" [3]. Die Richtlinie fordert unter anderem eine Dosis- (< 2 Gy) und Energielimitation (< 10 MV) am Implantat. Bei einer abgeschätzten Dosis > 10 Gy muss gegebenenfalls eine Reimplantation auf die kontralaterale Seite geschehen. Die Bestrahlungsplanung bei Patienten mit aktiven Implantaten sieht derzeit vor, dass das Implantat keiner direkten Strahlung ausgesetzt wird. Dennoch entsteht bei jeder Tumorbestrahlung unvermeidbare Streustrahlung (Abbildung 1), die je nach Nähe des Zielvolumens zum Implantat dies schädigen können. Ein geringerer Abstand zwischen Implantat und direktem Strahlengang lässt eine höhere Dosis an Streustrahlung erwarten und erhöht somit auch das Risiko von Fehlfunktionen und Störungen am Implantat.

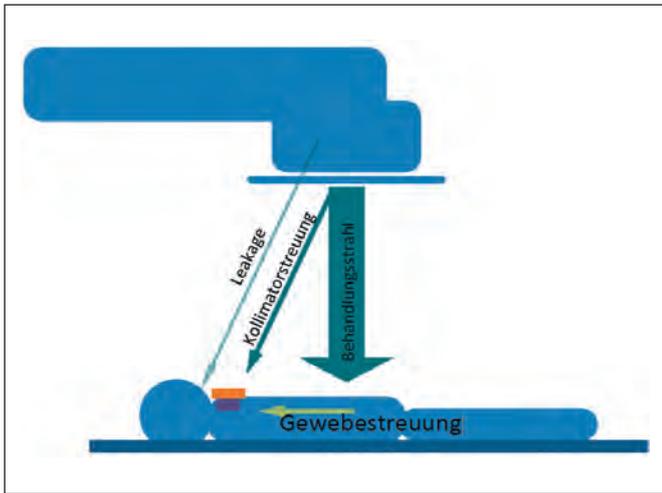


Abbildung 1: Entstehung von Streustrahlung während der Strahlentherapie

Die Richtlinie der Fachgesellschaften unterteilt das Risiko für Implantatträger zum einen nach der CIED-Abhängigkeit des Patienten sowie des Abstandes von CIED zur Tumorlokalisation und der abgeschätzten Dosis am Implantat. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Einteilung der Patienten in drei Risikogruppen. [3]

Tabelle 1: Einteilung der Patienten in die Risikogruppen: niedrig, mittel, hoch [3]

	Dosis ≤ 2 Gy	Dosis 2 – 10 Gy	Dosis > 10 Gy
Keine CIED- Abhängigkeit des Patienten	niedrig	mittel	hoch
CIED-Abhängigkeit des Patienten	mittel	hoch	hoch

2 Material und Methoden

Die Dosismessung zur Bestimmung der Streustrahlendosis direkt am Implantat kann nicht im Patienten erfolgen. Aufgrund dessen muss ein Ersatzphantom entwickelt werden, das gewebe- und wechselwirkungsäquivalente Eigenschaften wie humanes Gewebe besitzt. Um einen variablen Streukörper mit verschiedenen Modifikationen zu erzeugen, wurde das Phantom in Schichten entwickelt. Die Phantomschichten wurden zunächst mit der Konstruktionssoftware CATIA gezeichnet und im Anschluss daran von der hauseigenen Werkstatt der OTH Amberg-Weiden in Amberg gefertigt.

3 Ergebnisse

Aufgrund von wechselwirkungsäquivalenten Eigenschaften wie Absorption, Streuung und Erzeugung des Sekundärelektronenfeldes von PMMA im Vergleich zu Gewebe und Wasser sowie den vergleichbaren Massenschwächungskoeffizienten bei einer Energie von 6 MeV (vgl. Tabelle 2), wurde sich für ein Phantom aus Polymethylmethacrylat (PMMA) entschieden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der verschiedenen Parameter zur Beurteilung der wechselwirkungsäquivalenten Eigenschaften von PMMA im Vergleich zu Gewebe und Wasser [4,5]

Material	Effektive Ordnungszahl	Dichte [g/cm ³]	Massenschwächungskoeffizient bei 6 MeV [cm ² /g]
Wasser	0,555	0,998	$1,806 \cdot 10^{-2}$
PMMA	0,539	1,19	$1,731 \cdot 10^{-2}$
Gewebe	0,550	1,06	$1,786 \cdot 10^{-2}$

Zudem bilden individuell angepasste Bohrungen spezielle Einschubmodule für Ionisationskammern, Thermolumineszenzdetektoren (TLDs) und Gafchromic-Filme. Außerdem können CIEDs anhand des Einschubmoduls in das Phantom eingebracht werden. Es ist somit möglich, die Streustrahlendosis direkt am Implantat auf drei verschiedene Arten zu ermitteln. Durch das Zusammensetzen der einzelnen Phantomschichten (Schichtdicke = 1 cm) kann die Größe des gesamten Streukörpers variiert werden.

Die Abbildung 2 zeigt zum einen die einzelnen Schichten für die Messungen mit Gafchromic Filmen, TLDs sowie Ionisationskammern als CAD-Modell wie auch nach der Fertigstellung. Abbildung 3 stellt das gesamte Phantom für TLD-Messungen sowie integrierten CIED dar.

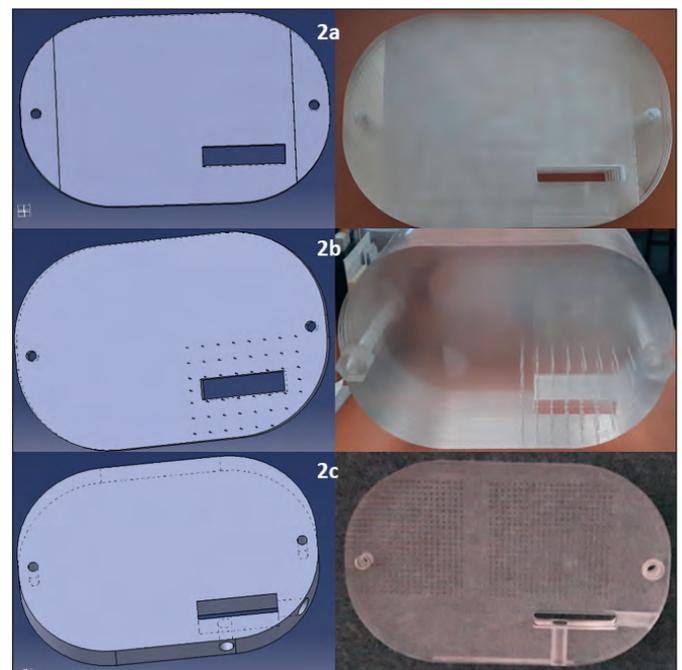


Abbildung 2: Die Abbildung 2a zeigt die Phantomschichten für Dosismessungen mit Gafchromic Filmen, 2b für TLD-Messungen und 2c stellt die Phantomschichten für die Dosimetrie mittels Messsonden dar.

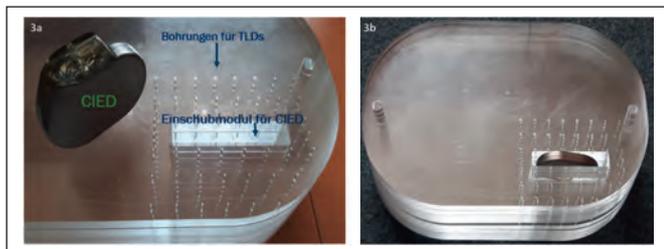


Abbildung 3: Links (3a) wird das Dosimetriephantom mit den Modifikationen für CIED und TLDs dargestellt. In der rechten Abbildung (3b) wurde beispielhaft ein CIED in das Einschubmodul eingebracht.

4 Zusammenfassung

Insgesamt konnte ein Dosimetriephantom entwickelt werden, das gewebe- und wechselwirkungsäquivalente Eigenschaften wie menschliches Gewebe besitzt. Die Strahlungstransporteigenschaften wie Absorption, Streuung und Sekundärelektronenfeld von PMMA sind denen von Weichteilgewebe sehr ähnlich. Das Phantom kann somit für Messungen zur Bestimmung und Charakterisierung der Streustrahlung bei Patienten mit CIEDs eingesetzt werden.

5 Ausblick

Nach der erfolgreichen Fertigstellung des Phantoms wird ein Planungs-CT gefahren, um im weiteren Verlauf des Projektes verschiedene Patientenpläne auf das Messphantom zu projizieren. Somit ist es möglich, die Dosis am Implantat für verschiedene Tumorzielvolumina in verschiedenen Abständen zum Implantat mittels des Bestrahlungsplanungssystems zu bestimmen. Zur Nachmessung der kalkulierten Dosis im Bestrahlungsplanungssystem wird zunächst das Phantom mit verschiedenem Messequipment präpariert. In vordefinierten Abständen werden Gafchromic Filme, TLDs oder Messsonden rund um das Implantat in das Phantom eingebracht. Durch die jeweiligen Phantomschichten ist es möglich, die Dosis am Implantat in verschiedenen Abständen und Tiefen nachzumessen, die Abweichung zwischen kalkulierter und gemessener Dosis zu ermitteln und somit eine exaktere Einschätzung der Streustrahlendosis am Implantat zu erhalten.

Referenzen:

- [1] Fachgruppe Herzschrittmacher und AQUA: Jahresbericht 2013 des Deutschen Herzschrittmacher- und Defibrillatorregisters. Teil 1: Herzschrittmacher. 2013.
- [2] Fachgruppe Herzschrittmacher und AQUA: Jahresbericht 2013 des Deutschen Herzschrittmacher- und Defibrillatorregisters. Teil 2: Implantierbare Cardioverter-Defibrillatoren (ICD). 2013.
- [3] B. Gauter-Fleckenstein, C. W. Isreal, M. Dorenkamp, et. al. (2015): DEGRO/DKG Guideline for radiotherapy in patients with cardiac implantable electronic devices. *Strahlenther Onkol* (2015): 393–404.
- [4] H. Krieger (2013): *Strahlungsmessung und Dosimetrie: 13 Dosimetrische Materialäquivalenz*, Springer Spektrum (2013): 283–290
- [5] S. Seltzer (2018), X-Ray Mass Attenuation Coefficients – NIST Standard Reference Database 126: Table 4, abrufbar unter: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab4.html>

Projektpartner:

Universitätsklinikum Regensburg

Fördergeber:

BayWISS
Bayerisches Wissenschaftsforum

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Kontakt:



Larissa Blümlein, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

l.bluemlein@oth-aw.de



Prof. Dr. Ralf Ringler

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik / Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.ringler@oth-aw.de

HORN Glass Industries AG	26
IGZ Die SAP Ingenieure	26
Stadtbau GmbH Weiden	50
Wohnungsbau und Siedlungswerk Werkvolk e.G.	50
Amberger Freunde der OTH Amberg-Weiden e.V.	74
F.EE Industrieautomation GmbH u. Co. KG	74
Förderverein der OTH Weiden e.V.	74
Stadtwerke Weiden i.d.OPf.	74
Siemens AG	97
Bayernwerk AG	117
Lang Patent Anwaltskanzlei	136
OTH Professional.....	136
PSZ electronic GmbH	156
BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH	U4

U = Umschlagseite

Impressum

Herausgeber:

Präsidentin
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Prof. Dr. Andrea Klug

Redaktion:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF
Andrea Breitschaft

Titelgestaltung:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF
Titelbild: stock.adobe.com

Inhalt/Bildmaterial/Copyright:

Die Verantwortung für Inhalt und Bildmaterial der Beiträge
sowie das Copyright liegt bei den jeweiligen Autoren.

Gesamtherstellung:

Verlag Druckerei Ebner, Schaufflinger Straße 15, 94469 Deggendorf

Erscheinungstermin:

Februar 2020

ISSN-Nummer:

2365-1997



Ostbayerische Technische Hochschule
Amberg-Weiden

Standort Amberg:

Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg
Tel.: 09621/482-0
Mail: amberg@oth-aw.de
www.oth-aw.de



Ostbayerische Technische Hochschule
Amberg-Weiden

Standort Weiden:

Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden
Tel.: 0961/382-0
Mail: weiden@oth-aw.de
www.oth-aw.de

Die Onlineversion des Forschungsberichtes finden Sie unter: www.oth-aw.de/forschungsbericht

TEAMPLAYERS WELCOME

Aktuelle Ausbildungs- und Karriereperspektiven
finden Sie auf unserer Homepage unter
www.bhs-world.com/karriere



BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH

Kompetenz, Innovation und Leidenschaft haben uns zum weltweit führenden Lieferanten für Wellpappenanlagen gemacht. Die rund 2.200 Mitarbeiter von BHS Corrugated sorgen dafür, dass wir unsere Kunden auch in Zukunft mit richtungsweisenden Ideen und exzellenten Leistungen begeistern können.

Kontakt Personalabteilung - Stefanie Luber

Tel.: 09605-919-330 || E-Mail: sluber@bhs-world.com